த. பா. நி. (க.வெ.) வரிசை எண், — 215

எக்ஸ்கதிர்களும் படிகவியலும்

(பட்டப் படிப்பிற்குரியது)

ஆசிரியர்

சி. உ. பிள்ளை, எம். ஏ., எம். எஸ்சி.,
இயற்பியல் உதவிப் பேராசிரியர்,
கிண்டி பொறியியற் கல்லூரி,
சென்னை.

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—August, 1978
Number of Copies — 2000

T. N. T. B. S. (C. P.) No. 815

© Government of Tamilnadu

X-RAYS AND CRYSTALLOGRAPHY

S. O. PILLAI

Price Rs. 6-05

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

This book has been printed on concessional paper made available by the Government of India.

Printed by
Muthamizh Chelvi Achagam,
1/65, Broadway, Madras-1.

அணிந்துரை

(திரு. செ. அரங்கநாயகம், தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினெட்டாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் இளங்கலை வகுப்புவரை மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1969 ஆம் ஆண்டிலிருந்து அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளில் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்துள்ள நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில் கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்களுக்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகமும் சென்னைப் பல்கலைக்கழகமும் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

வரலாற்றியல், அரசியல், உளவியல், பொருளியல், மெய்ப்பொருளியல், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதவியல், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல், சட்டவியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் மூலநூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்று இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் நூல்களை வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான எக்ஸ் கதிர்களும் படிகவியலும் என்னும் இந் நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 815ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 850 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந்நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்ட'த்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

தமிழில் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும் என்பதே நம் குறிக்கோளாகும். கல்லூரிகளிலும் பல்கலைக்கழகங்களிலும் கலையியற் பாடங்களையும், அறிவியற் பாடங்களையும், தொழில்நுட்ப அறிவுப் பாடங்களையும் பயிலுகின்ற மாணவர்கள், அவற்றைத் தமிழில் பயில வேண்டும் என்பதை வலியுறுத்தி வருவதற்குக் காரணம், தமிழறிவு வளர வேண்டும் என்பதைவிட, தமிழ் மக்களின் அறிவு ஆற்றல் எளிதாக, விரைவாக வளரவேண்டும் என்பதுதான். 'எதிலும் தமிழ்; எங்கும் தமிழ்' என்னும் குறிக்கோளை நிறைவேற்ற வேண்டிய கடப்பாடு தமிழக ஆசிரியப் பெருமக்களையும் மாணவர்களையும் சார்ந்ததாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரியதாகுக!

செ. அரங்கநாயகம்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

I. எக்ஸ்கதிர்கள்

1.	அறிமுகம்	... 1
2.	எக்ஸ்கதிர்களின் உற்பத்தி	... 3
3.	உயர்மின் அழுத்த உற்பத்தி	... 10
4.	தடம் கண்டறிதல்	... 13
5.	எக்ஸ்கதிர்களின் தன்மைகள்	... 18
6.	சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள்	... 36

II. அடிப்படைப் படிகவியல்

1.	அறிமுகம்	... 57
2.	சமச்சீர் தனிமங்கள்	... 60
3.	படிகவியலில் குறிக்கப்படும் அச்சுகள்	... 68
4.	மில்லர் காட்டிகள்	... 74
5.	கூட்டுப் படிகங்களும் மண்டலங்களும்	... 83
6.	இட அணிக்கோவை	... 88
7.	ஈவால்டின் தலைகீழ் அணிக்கோவை	... 107
8.	புள்ளித் தொகுப்புகளும் இடத் தொகுப்புகளும்	... 114
9.	படிகங்களின் வகைகள்	... 117

III. எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்புவளைவும் படிகப் பகுப்பாய்வும்

			பக்கம்
1.	எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவு	...	123
2.	பிராக்கின் விதி	...	127
3.	பிராக்கின் படிகப் பகுத்தாய்வு முறை	...	133
4.	அணு இயலமைப்புக் காரணி	...	147
5.	படிக இயலமைப்புக் காரணி	...	154
6.	படிகங்களின் இயலமைப்பை நிர்ணயிக்கும் முறை		161
7.	எக்ஸ்கதிர் விளிம்பு வளைவுச் சோதனை முறைகள்		171
8.	வெக்டார்கள்	...	181
	சில முக்கிய இயற்பியல் மாறிலிகள்	...	187
	மேற்கோள் நூற்பட்டியல்	...	189
	அறிவியல் ஏடுகள்	...	191
	கலைச்சொற்கள்	...	193

I. எக்ஸ்கதிர்கள்

(X-Rays)

1. அறிமுகம்

(Introduction)

பத்தொன்பதாம் நூற்ருண்டில் கேதோட் கதிர்களின் (Cathode rays) கண்டுபிடிப்பிற்குப் பிறகு, இயற்பியலாளர்கள் (Physicists) அக் கதிர்களின் தன்மைகளைப்பற்றி அறிந்துகொள்ள பல பரிசோதனைகளைச் செய்துகொண்டிருந்தார்கள். இவ்வாறு பரிசோதனைகளைச் செய்துகொண்டிருந்தவர்களுள் வில்ஹெல்ம் ரான்ட்சன் (Wilhelm Roentgen) என்பவரும் ஒருவர்.

ஜெர்மானிய நாட்டிலுள்ள உர்ச்பர்க் (Wurzberg) பல்கலைக் கழகத்தில் இயற்பியல் பேராசிரியராகப் பணிபுரிந்த ரான்ட்சன் 1895ஆம் ஆண்டில், கேதோட் கதிர்க் குழாய் (Cathode ray tube) ஒன்றை உண்டாக்கி அதை ஓர் அட்டைப் பெட்டிக்குள் வைத்தார். அக் குழாயிலிருந்து சிறிது தூரத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்த பேரியம் பிளாட்டினேசைனைடு (Barium platino cyanide) கரைசலால் பூசப்பட்டிருந்த திரை ஒளிர்தலைக் கண்டார். இத் திரை ஒளிர்தலின் காரணங்களை ஆராய முனைந்தார். கேதோட் கதிர்கள் இத் திரை ஒளிர்தலைச் செய்யவில்லை என்பதில் ரான்ட்சனுக்கு உறுதியான நம்பிக்கை இருந்தது. ஏனென்ருல், கேதோட் கதிர்க் குழாய்க் கண்ணாடியால் ஆக்கப்பட்டதால் இக் கண்ணாடிச் சுவர்களைக் கதிர்கள் தாக்கும்பொழுது கண்ணாடிச் சுவர்கள் இக் கதிர்களை உட்கவர்ந்துவிடும். ஆகையால், கண்ணாடிச் சுவர்களில் எப் பகுதியில் இக் கேதோட் கதிர்கள் தாக்குகின்றனவோ அப் பகுதியிலிருந்து புதிய ஒரு கதிர்வீச்சுத் தோன்றுவதை ரான்ட்சன் உறுதிப்படுத்தினுர். இப் புதிய கதிர்வீச்சிற்கு எக்ஸ்கதிர்கள் எனப் பெயரிட்டார். ரான்ட்சன் இப் புதிய கண்டுபிடிப்பைப் பற்றி உலகிற்கு அறிவிக்கும் முன்னர்க் கீழ்க்கண்ட மற்ருெரு முக்கிய உண்மையையும் கண்டார்.

மனிதனுடைய எலும்பிற்குள் இக் கதிர்கள் செல்லுவதைக் காட்டிலும், சதைக்குள் மிகவும் எளிதாகச் செல்வதை மெய்ப்பித்தார். அதோடு கேதோட் குழாயின் கண்ணாடிச் சுவர்களில் கேதோட் கதிர்கள் மோதி அங்கிருந்து எக்ஸ்கதிர்களை உற்பத்தி

செய்வதைக் காட்டிலும், உலோகத்தாலான ஒரு பொருளின்மீது கேதோட் கதிர்களைத் தாக்கச் செய்து அதிக அளவில் எக்ஸ் கதிர்கள் வெளிவருவதை நிரூபித்தார். ராண்ட்சன் எக்ஸ் கதிர் களைக் கண்டுபிடித்து அதை உலகிற்கு முதன்முதலில் அறிமுகப் படுத்தியதோடு, பல செய்முறைகளின்மூலம் கீழ்க்கண்ட உண்மை களையும் கண்டறிந்தார்.

இலேசான உலோகமான அலுமினியத்தைக் காட்டிலும் கன மான பிளாட்டினத்தை நேர்மின்வாயாகப் (anode) பயன்படுத்து வதன்மூலம் அதிக அளவில் (copious supply) எக்ஸ்கதிர்களைப் பெறமுடியும்.

எக்ஸ்கதிர்கள் ஒளிப்படத் தகட்டை (photographic plate) கறுப்பாக்குகிறது. எக்ஸ்கதிர்களை வாயுவினுள் செலுத்தினால் அவ் வாயு அயனியாக்கப்படுகிறது (ionised).

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயில் (X-ray tube) பொருத்தப்பட்டிருக்கும் நேர்மின்வாய்க்கும் (anode), எதிர்மின்வாய்க்கும் (cathode) இடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தத்தை அதிகமாக்கினால், அக் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் ஊடுதிறன் அதிகமாகிறது.

இவ்வாறு எக்ஸ்கதிர்களையும், அவற்றின் தன்மைகளையும் (properties) கண்டறிந்தமைக்காக ராண்ட்சனுக்கு 1901ஆம் ஆண்டு நோபல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

2. எக்ஸ்கதிர்களின் உற்பத்தி
(Production of X-Rays)

எக்ஸ்கதிர்க் குழாய்கள் (X-ray tubes)

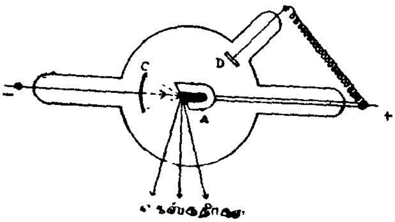
அதிவேகமாகச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களை ஏதாவது ஒரு கனமான உலோகப் பொருளால் தடுத்து நிறுத்தினால், அப் பொருளில் தடுத்த இடத்திலிருந்து எக்ஸ்கதிர்கள் வெளிவருகின்றன. எக்ஸ்கதிர்களை உற்பத்திசெய்ய கேதோட் கதிர்க்குழாய்களையும் குருக் குழாய்களையும் (Crooke's tubes) முதன் முதலில் பயன்படுத்தினார்கள். ஆனால், மேற்குறிப்பிட்ட குழாய்களிலிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்கள் அதிகப் பயன்தரத்தக்க கதிர்வீச்சாக இல்லை. ஆகையால், ரான்ட்சன் மேற்குறிப்பிட்ட குழாய்களில் பல மாறுதல்களைச் செய்து புதிய குழாய் ஒன்றைக் கண்டுபிடித்தார். அது வாயுக் குழாய் (gas tube) எனப்படும்.

வாயுக் குழாய் (Gas tube)

ரான்ட்சனின் வாயுக் குழாயின் அமைப்பைப் படம் 1-ல் காணலாம். படத்தில் *C* என்று குறிப்பிட்டுள்ள குழிஆடி (concave) வடிவத்தைக் கொண்ட எதிர்மின்வாய் (cathode) அலுமினியத்தால் செய்யப்பட்டது. *D* என்பது நேர்மின்வாயாகும் (anode). இந்த நேர்மின்வாய், *A* என்ற துணை நேர்மின்வாயோடு (auxiliary anode) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இத் துணை நேர்மின்வாய் பொதுவாக உயர் உருகுநிலையுள்ள (high melting point) உலோகங்களான பிளாட்டினம், டங்ஸ்டன், மாலிப்டினம் ஆகிய இவற்றில் ஏதேனும் ஒன்றால் செய்யப்படுகிறது. குழாயில் வாயுவின் அழுத்தம் 0·001 மில்லிமீட்டர் என்ற நிலையில் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

குழாயின் இரு மின்வாய்களுக்கு (electrodes) இடையில் செயல்படும் மின் அழுத்தத்தினால் (voltage) குழாயில் இருக்கும் வாயு அயனியாக்கப்படுகிறது. இதனால் பிரிந்த எலக்ட்ரான்களும், நேர் அயனிகளும் (positive ions) முறையே நேர்மின்வாயையும் எதிர்மின்வாயையும் நோக்கிச் செல்கின்றன. எதிர்மின்வாயை

(cathode) நோக்கிச் செல்லும் நேர் அயனிகள் எதிர்மின் வாயின் மேல் மோதுவதால், இன்னும் அதிக எலக்ட்ரான்களை வெளிப்



படம் 1. வாயுக் குழாய்

படுத்துகின்றது. எதிர்மின்வாயிலிருந்து தள்ளப்பட்ட இந்த எலக்ட்ரான்கள், எதிர்மின்வாயின் குவியப் புள்ளியில் வைக்கப் பட்டிருக்கும் துணை நேர்மின்வாயை நோக்கி வேகமாகச் சென்று தாக்கி எக்ஸ்கதிர்களை வெளிப்படுத்துகின்றன. அதிக அணு எடையுள்ள (high atomic weight) டங்ஸ்டனைத் துணைநேர்மின் வாயாகப் பயன்படுத்துவதால், அதிகச் செறிவு (intensity) உடைய எக்ஸ்கதிர்கள் வெளிவருகின்றன. டங்ஸ்டனைத் துணை நேர்மின் வாயாகப் பயன்படுத்துவதற்கு இன்னொரு காரணமும் உண்டு. டங்ஸ்டனின் உருகுநிலை (melting point) அதிகமானதால், மிகுந்த வேகத்துடன் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் துணை நேர்மின் வாயுடன் மோதும்போது உண்டாகும் வெப்பத்தால் டங்ஸ்டன் உருகுவதில்லை.

வாயுக்குழாயே நெடுநாள்கள்வரை எக்ஸ்கதிர்கள் உற்பத்தி செய்வதற்குப் பயன்பட்டு வந்தது. வாயுக் குழாயின் உபயோகத்தில் கீழ்க்கண்ட குறைகள் காணப்பட்டன :

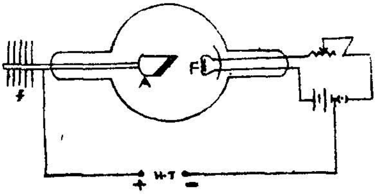
வாயுக் குழாயிலிருந்து உற்பத்தியாகும் எக்ஸ்கதிர்களின் தன்மை வாயுக் குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தையும் (pressure), இரு மின்வாய்களுக்கும் இடையில் செயல்படும் மின் அழுத்தத்தையும் (voltage) பொறுத்திருக்கிறது. குழாயில் உற்பத்தியாகின்ற அயனியின் (ions) எண்ணிக்கை, குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செயல்படும் மின்அழுத்தத்தையும், குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தத்தையும் பொறுத்திருக்கிறது. எனவே, மின் வாய்களுக்கிடையில் செயல்படும் மின்அழுத்தத்தை மாற்றும் பொழுது, அயனிகளின் எண்ணிக்கை மாறி, மின்னோட்டம் மாறுகிறது. ஆகையால், வாயுக் குழாயில் மின்னோட்டம் மாற்றப் படாமல் மின்அழுத்தத்தை மாற்ற இயலாது. மேலும், வாயுக்

குழாய் நீண்டநேரம் உபயோகத்திலிருந்தால், குழாயிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் குறைந்து மின்னோட்டம் பாதிக்கப்படுகிறது.

மேற்குறிப்பிட்ட குறைகளை நீக்கிப் புதிய குழாய் ஒன்றை டபிள்யூ. டி. கூலிட்ச் (W. D. Coolidge) என்பவர் கண்டுபிடித்தார். இப் புதிய குழாய் கூலிட்ச் குழாய் (Coolidge tube) என்று வழங்கப்படுகிறது.

கூலிட்ச் குழாய் (Coolidge tube)

கூலிட்ச் குழாயின் அமைப்புப் படம் 2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. குழாயிலுள்ள வாயு முழுவதும் முதலில் வெளியேற்றப்படுகிறது. வாயுக் குழாயிலிருக்கும் அலுமினியத்தாலான எதிர்மின்வாய்க்குப் பதிலாக, இக் குழாயில் டங்ஸ்டனால் செய்த இழை (filament) உபயோகப்படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதுதான் இந்த இரண்டு குழாய்களுக்கும் உள்ள முக்கிய வித்தியாசம். மின்னோட்டத்தின் மூலம் டங்ஸ்டன் இழையைச் சூடாக்கும்போது, அதிலிருந்து மிகுதியான எலக்ட்ரான்கள் வெளிவருகின்றன.



படம் 2. கூலிட்ச் குழாய்

மின்வாய்களுக்கிடையில் செயல்படும் மின் அழுத்தத்தின் காரணமாக டங்ஸ்டன் இழையிலிருந்து வரும் எலக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாயை நோக்கி முடுக்கப்படுகின்றன (accelerated). இவ்வாறு முடுக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான்கள் நேர்மின்வாயில் மோதி எக்ஸ்கதிர்களை உற்பத்தி செய்கின்றன. வாயுக் குழாய்போல் அல்லாமல் இக் குழாயில் மின்னோட்டத்தையும், மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தத்தையும் தனித் தனியாக ஒன்றையொன்று பாதிக்காமல் மாற்றலாம். அதாவது மின்அழுத்தத்தை மாற்றுவதால் மின்னோட்டம் மாறாது. கூலிட்ச் குழாயில் உற்பத்தியாக்கப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை டங்ஸ்டன் இழையின் வெப்பநிலையைப் (temperature) பொறுத்து இருக்கிறது. டங்ஸ்டன் இழையின் வெப்பநிலையை மின்னோட்டச் சுற்றின் (electric circuit) மூலம் எளிதில் மாற்றலாம். *f* என்ற குளிர் துடுப்பின் (cooling fins) மூலம் நேர்மின்வாயில் ஏற்படுகின்ற வெப்பம் தணிக்கப்படுகிறது.

டங்ஸ்டன் இழையின் வெப்பநிலை மாறும்பொழுது குழாயின் ஊடே செல்லும் மின்னோட்டம் மாறுகிறது. இதனால் குழாயி லிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு (intensity of X-rays) மாறு கிறது. டங்ஸ்டன் இழை குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் இருக்கும் பொழுது அதிலிருந்து வெளிவரும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக் கையை அதிகமாக்கக் குழாயிலிருக்கும் மின்வாய்களுக்கிடையில் செயல்படும் மின் அழுத்தத்தை அதிகப்படுத்தலாம். ஆனால், குறிப்பிட்ட ஓர் அளவிற்குமேல் மின்அழுத்தத்தை அதிகமாக்கும் பொழுது எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகமாவதில்லை. மாறாக, குறிப்பிட்ட அளவிற்குமேல் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தம் நேர்மின்வாயை நோக்கிச் செல்லும் எலக்ட்ரான்களின் வேகத்தை அதிகப்படுத்துகிறது. அதனால் குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்களின் தன்மை (quality of X-rays) மாறுபடுகிறது.

கூலிட்ஸ் குழாயில் டங்ஸ்டன் இழையின் வெப்பநிலையை மாற்றி எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவையும் (intensity of X-rays) மின் வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தத்தை மாற்றி எக்ஸ்கதிர்களின் தன்மையையும் (quality of X-rays) தனித் தனியாக ஒன்றை ஒன்று பாதிக்காமல் மாற்றலாம் எனக் கண்டோம். இனி வாயுக் குழாயும், கூலிட்ச் குழாயும் தயாரிக்கும் போது, கீழ்க்கண்ட சில பொதுவான அம்சங்களைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

எதிர்மின்வாயிலிருந்து வரும் எலக்ட்ரான்களில் நூற்றுக்கு ஒரு பங்குதான் எக்ஸ்கதிர்கள் உற்பத்திக்குப் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. மற்றவை அனைத்தும் நேர்மின்வாயை வெப்பப்படுத்து கின்றன. ஆகையால், எலக்ட்ரான்களால் உண்டாக்கப்பட்ட இந்த வெப்பத்தைக் குறைக்கவேண்டும். இதற்குக் கீழ்க்காணும் வழிகளில் ஒன்றை மேற்கொள்ளலாம் :

(1) அதிக உருகுநிலையுள்ள டங்ஸ்டன் (3370° C), மாலிப் டினம் (2620° C), ரேடியம் (1955° C) ஆகிய இவற் றில் ஏதேனும் ஒன்றால் நேர்மின்வாய் தயாரிக்கப்பட வேண்டும்.

(2) காற்றுடியைக் கொண்டு வெப்பத்தைக் குறைக்கலாம்.

(3) குளிர்ந்த தண்ணீர் அல்லது எண்ணெய் ஆகிய இவற்றில் ஏதேனும் ஒன்றை நேர்மின்வாயைச் சுற்றிச் சுழலவிட்டு வெப்பத்தை உட்கவரச் செய் யலாம்.

(4) நேர்மின்வாயை நிலையாக வைப்பதற்குப் பதில் அதைச் சுற்றச் செய்து, எலக்ட்ரான்களை அதன் வெவ்வேறு பகுதிகளில் தாக்கச் செய்து, எக்ஸ்கதிர்களை உற்பத்தி செய்யலாம். இதனால், ஒரே இடத்தில் அதிக வெப்பம் உண்டாவது தடுக்கப்படுகிறது.

(5) அதிகக் கடத்துந் (high conductivity) திறனுள்ள உலோகங்களான செம்பு (copper) அல்லது வெள்ளி (silver) ஆகிய இவற்றில் ஒன்றைப் பயன்படுத்தலாம்.

கூலிட்ச் குழாயின் குறைபாடுகள் (Disadvantages of Coolidge tube)

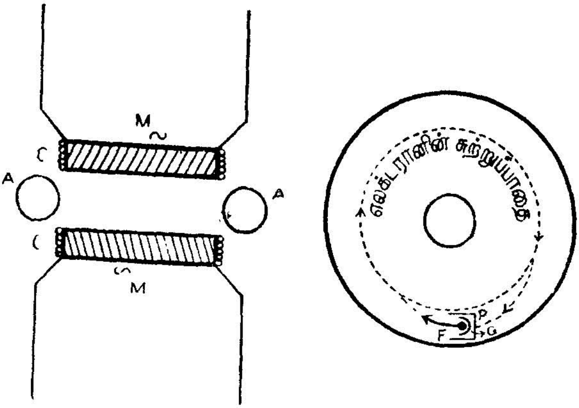
எதிர்மின்வாயில் வைக்கப்பட்டிருக்கும் டங்ஸ்டன் இழை (tungsten filament) உருகி, அது ஆவியாக மாறி நேர்மின்வாயில் படிகிறது. இதனால், அது எக்ஸ்கதிர்வீச்சை உட்கவர்ந்துவிடுகிறது. இவ்வாறு உட்கவருவதால் எக்ஸ்கதிர்வீச்சின் செறிவு குறைகிறது. இரண்டாவதாக, நேர்மின்வாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிரோடு டங்ஸ்டன் 'ட' என்ற கதிர்வீச்சும் சேர்ந்துவிடுகிறது. ஆகையால், நேர்மின்வாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்கள் கலப்படமுள்ளதாக இருக்கின்றன.

எக்ஸ் குழாய்களைப் பிரிக்க இயலும் குழாய்களாக (demountable tubes) வைத்துக் கொள்வதன்மூலம் மேற்குறிப்பிட்ட குறைபாடுகளை நீக்கமுடியும். இப்படிப்பட்ட பிரிக்க இயலும் குழாயின் நேர்மின்வாயில் அதிக அளவு டங்ஸ்டன் படிந்துவிட்டால், அந்த நேர்வாயை வெளியே எடுத்து அதைச் சுத்தம் செய்யவோ அல்லது புதிய ஒரு நேர்மின்வாயைப் பொருத்தவோ எளிதில் முடியும்.

பீட்டாட்ரான் (Betatron)

முன்னால் விவரிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்க் குழாய்களில் நேர்மின்வாயை நோக்கி முடுக்கப்படும் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல், மின்வாய்களுக்கு இடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. அண்மையில் பீட்டாட்ரான் (Betatron) எனப்படும் ஒரு புது வகையான எக்ஸ்கதிர்க் குழாய் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இக் குழாயில் 'ஒத்திசை முடுக்கம்' (resonance acceleration) என்ற தத்துவப்படி எலக்ட்ரான்கள் முடுக்கப்படுகின்றன.

டாக்டர் வால்டன் (Dr. Walton), டி. டபிள்யூ. கெர்ச்ட் (D.W. Kerst) என்பவர்களால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட பீட்டாட்ரானின் அமைப்பு படம் 3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. *MM* என்ற மின்காந்தத்தின் முனைகளுக்கு (poles) இடையில் *AA* என்ற வட்ட வடிவமான வெற்றிடக் குழாய் (vacuum tube) ஒன்று வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. உயர் அழுத்த எதிர்த்திசை மின்னோட்டத்தால் (high Voltage A. C.) மின்காந்தம் வேலை செய்கிறது. வெப்பமாக்கப்பட்ட இழையிலிருந்து (heated filament) வெளிவருகிற எலக்ட்ரான்கள், *G*-என்ற கிரிட்டினுள் (grid) குவிக்கப்படுகிறது. *P* என்ற தட்டிற்கும் (plate), *F* என்ற இழைக்கும் இடையில் உயர்மின் அழுத்தம் செலுத்தப்படுவதால், எலக்ட்ரான்கள் *AA* என்ற வெற்றிடக் குழாய்க்குள் மிகுந்த வேகத்துடன் தள்ளப்படுகின்றன.



படம் 3. பீட்டாட்ரான்

மின்காந்த முனைகளுக்கு இடையில் உண்டாகிற மாறுதிசைக் காந்தப் புலம் (alternating magnetic field), வெற்றிடக் குழாய் அச்சுக்கு இணையாக வேலை செய்கிறது. மாறும் காந்தப் பாயத்தால் (magnetic flux), எலக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதைக்குத் (orbit) தொடுவியலாக (tangential) மின் இயக்குவிசை (electromotive force) உண்டாகிறது. இம்மின் இயக்குவிசை சுற்றிவரும் எலக்ட்ரான்களுக்கு அதிக ஆற்றலைக் (energy) கொடுக்கிறது. இரண்டாவதாக, எலக்ட்ரான் செல்கின்ற திசைக்குச் செங்குத்தாக உண்டாகிற காந்தப் புலம் ஆரக்கால் விசையை (radial force) ஏற்படுத்துகிறது. இந்த ஆரக்கால் விசை எலக்ட்ரான்களை வட்டப் பாதையில் தொடர்ந்து நகர்ந்து கொண்டிருக்கும்படி செய்கிறது.

காந்த முனைகளைச் சுற்றி இருக்கும் CC என்ற வரிச்சுருள்களால, முனைகளுக்கு இடையில் அதிகக் காந்தப்புலம் உண்டாகும்படி செய்யப்பட்டிருக்கிறது. இந்தக் காந்தப் புலத்தால் காந்த முனைகளுக்கு இடையில் உண்டாகிற மாறும் காந்தப் பாயம் எலக்ட்ரான்களை மாருத ஆரத்தையுடைய நிலையான வட்டப் பாதையில் (stable orbit of constant radius) சுற்றிவரும்படி செய்கிறது. ஆகையால். எலக்ட்ரான்கள் மேற்சொன்ன நிலையான வட்டப் பாதையில் பல நூருயிரம் தடவைகள் சுற்றி வருகின்றன. எலக்ட்ரான்கள் நிலையான வட்டப் பாதையில் ஒவ்வொரு தடவை சுற்றி வரும்பொழுதும் அதிக ஆற்றலைப் பெறுகின்றன. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்கள் சுற்றிவரும்பொழுது, மாறுதிசைக் காந்தப்புலத்தின் செறிவு கால்சுற்றில் (quarter a cycle) உச்சத்தை (maximum) அடைகிறது. ஆகையால், ஒவ்வொரு கால்சுற்றிலும் மாறுதிசைக் காந்தப்புலத்தின் செறிவு பெருமத்தை அடையும்பொழுது, எலக்ட்ரான்கள் மிகவும் அதிக ஆற்றலைப் பெறுகின்றன. உடன் காந்தப் புலம் கலைக்கப்படுகிறது. இதனுல் நிலையான வட்டப் பாதையில் சுற்றிக்கொண்டு இருக்கும் எலக்ட்ரான்கள் இவ் வட்டப் பாதையினின்றும் விலகி வெளிவந்துவிடுகின்றன. இவ்வாறு வெளிவந்த எலக்ட்ரான்கள் படத்தில் குறித்துள்ள P என்ற கேடயத்தின் (shield) பின்பகுதியில் மோதுகின்றன. இதனுல் அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த எக்ஸ்கதிர்கள், எலக்ட்ரான்கள் மோதிய பகுதியிலிருந்து வெளிவருகின்றன.

மேற்சொன்ன அதிக ஆற்றலுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள், ஒரு தனிமத்தை மற்ருெரு தனிமமாக மாற்றுவதற்குச் செயற்கைக் கருமாற்றம் (artificial transmutation of elements) மிகவும் பயன்படுகிறது. இந்த எக்ஸ்கதிர்களைக் கொண்டு செம்பை நிக்கலாகவும், வெள்ளியைக் கேட்மியமாகவும் மாற்றலாம்.

3. உயர்மின் அழுத்த உற்பத்தி

(Generation of High Voltage)

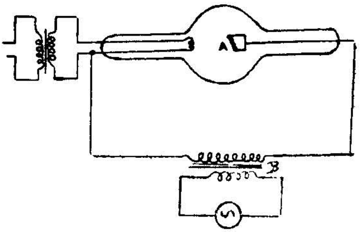
எக்ஸ்கதிர்க் குழாய்களின் மின்வாய்களுக்கிடையில் (electrodes) செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தம், நிலையான உயர்மின் அழுத்தம் (steady high voltage) உடையதாகவோ அல்லது விட்டு விட்டு மாறுகின்ற உயர்மின் அழுத்தம் (varying high potential) உடையதாகவோ இருக்கலாம். இவ்வுயர் மின்அழுத்தத்தை, மாறுதிசை மின்னோட்ட மாற்றி (Alternating current transformer) மூலமாகவோ அல்லது துண்டுச் சுருளின் (induction coil) மூலமாகவோ பெறலாம். மாறுதிசை மின்னோட்ட மாற்றியிலிருந்து வரும் மின்னோட்டத்தைத் திருத்தி, நேர்மின்னோட்டமாக (Direct current) மாற்றிக் குழாய்களின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தலாம். மாறுதிசை மின்னோட்டத்தை நேர்திசை மின்னோட்டமாக இருவிதத்தில் மாற்றலாம். ஒன்று அரை அலைதிருத்தி (half wave rectifier), மற்றொன்று முழு அலைதிருத்தி (full wave rectifier).

அரை அலைதிருத்தி (Half wave rectifier)

மூடித் தாளிட்ட எக்ஸ்கதிர்க் குழாய் (sealed X-ray tube) சாதாரணமாக டயோடைப் (diode) போல் வேலை செய்கிறது. ஆகையால் மேற்சொன்ன இக் குழாயே, மாறுதிசை மின்னோட்டத்தைத் திருத்தி நேர்திசை மின்னோட்டமாக (self rectification) மாற்றுகிறது.

அரை அலைதிருத்தியின் அமைப்பைப் படம் 4-ல் காணலாம். டங்ஸ்டன் இழையோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும் மின்மாற்றி டங்ஸ்டன் இழையைச் சூடாக்குகிறது. படத்தில் B என்பது அதிக மின் அழுத்தத்தை உண்டாக்கும் மாறுதிசை மின்னோட்ட மாற்றி. இம் மின்மாற்றியின் ஒரு பக்கம் படத்தில் காட்டியபடி டங்ஸ்டன் இழையோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. மறுபக்கம் C என்ற நேர் மின்வாயோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. B என்ற உயர்மின் அழுத்த மின்மாற்றியின்மூலம் மாறுதிசை மின்னோட்டத்தைச் செலுத்தும்பொழுது. A என்ற மின்வாய் மாறிமாறி நேர்மின்

அழுத்தத்தையும் (positive potential), எதிர்மின் அழுத்தத்தையும் (negative potential) பெறுகிறது. *A* என்ற நேர்மின்வாய் நேர் மின் அழுத்தத்தைப் பெறும்பொழுது, டங்ஸ்டன் இழையிலிருந்து வரும் எலக்ட்ரான்கள் நேர்மின் வாயை நோக்கி முடுக்கப்படு கின்றன. அதனால் எக்ஸ்கதிர்கள் உற்பத்தியாகின்றன.

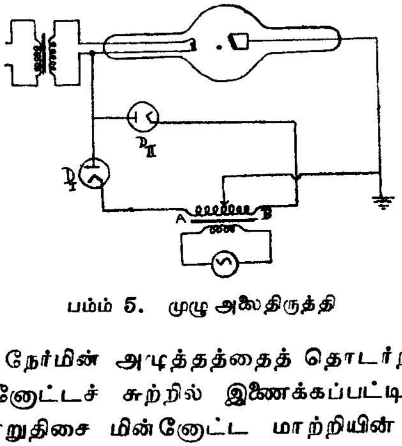


படம் 4. அரை அலைதிருத்தி

ஆனால், *A* என்ற நேர்மின் வாய் எதிர்மின் அழுத்தத்தைப் பெறும்பொழுது டங்ஸ்டன் இழையிலிருந்து வரும் எலக்ட் ரான்கள் டங்ஸ்டன் இழையை நோக்கியே எதிர்த்துத் தள்ளப் படுகின்றன. ஆகையால், இக் குழாயிலிருந்து எக்ஸ்கதிர்கள் தொடர்ந்து உற்பத்தியாவதில்லை. நேர்மின்வாய் நேர்மின் அழுத் தத்தைப் பெறும்பொழுது மட்டுமே எக்ஸ்கதிர்கள் உற்பத்தி யாகின்றன. எனவே எக்ஸ்கதிர்கள் தொடர்ந்து தேவைப் படாமல், விட்டு விட்டுத் தேவைப்படுகின்ற பொழுதுமட்டுமே இக் குழாய்களைப் பயன்படுத்த முடியும்.

முழு அலைதிருத்தி (Full wave rectifier)

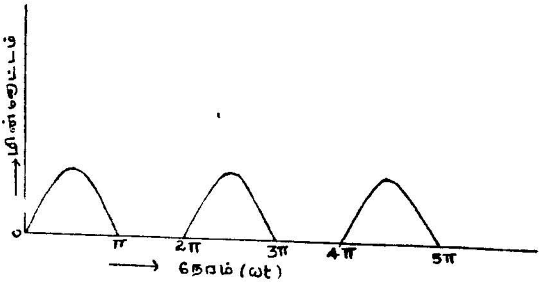
முழு அலைதிருத்தியின் மின்னோட்டச் சுற்றை (electric circuit) படம் 5-ல் காணலாம். குழாயுடன் இரண்டு டயோடுகள் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இரண்டு டயோடுகளும் சேர்ந்து



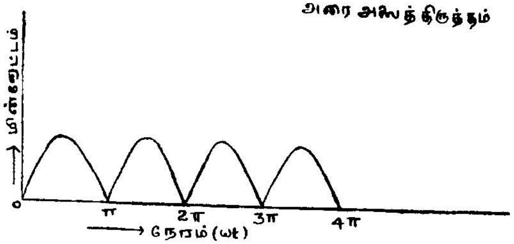
பம்ம் 5. முழு அலைதிருத்தி

நேர்மின்வாயை நேர்மின் அழுத்தத்தைத் தொடர்ந்து பெறச் செய் கின்றன. மின்னோட்டச் சுற்றில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் அதிக மின்அழுத்த மாறுதிசை மின்னோட்ட மாற்றியின் *C* என்ற நுனி நேர்மின் அழுத்தத்தைப் பெறும்பொழுது, *B* என்ற நுனி எதிர்

மின் அழுத்தத்தை அடைகிறது. இதனால் இரண்டாவது டயோடு வழியாக மின்னோட்டம் சென்று இழையைச் சூடாக்கி, அதிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை நேர்மின்வாயை நோக்கிச் செல்லச் செய்கின்றது. இந் நிலையில் டயோடு-I வழியாக மின்னோட்டம் செல்லாது, அடுத்த $\frac{1}{50}$ ஆவது நொடியில் A என்ற நுனி எதிர்மின் அழுத்தத்தையும், B என்ற நுனி நேர்மின் அழுத்தத்தையும் அடைகின்றன. இப்போது டயோடு-I வழியாக மின்னோட்டம் சென்று இழையைச் சூடாக்கி எலக்ட்ரான்களை நேர்மின்வாயை



அரை அலைத் திருத்தம்



முழு அலைத் திருத்தம்

படம் 6. அரை அலைத் திருத்தமும் முழு அலைத் திருத்தமும்

நோக்கித் தள்ளுகின்றன. இப்பொழுது டயோடு-II வழியாக மின்னோட்டம் செல்வதில்லை. எனவே, இந்த முழு அலைதிருத்தி மூலம் எப்பொழுதும் தொடர்ந்து எக்ஸ்கதிர்களைப் பெறமுடியும்.

4. தடம் கண்டறிதல்
(Detection of X-rays)

ராண்ட்சன் முதன்முதலில் எக்ஸ்கதிர்களைக் கண்டுபிடித்த பொழுது கேதோடு கதிர்க்குழாயிலிருந்து வந்த எக்ஸ்கதிர்களால் அக் குழாய்க்குப் பக்கத்தில் வைக்கப்பட்டிருந்த பேரியம் பிளாடினோ சைனைடு கரைசலால் பூசப்பட்டிருந்த திரை ஒளிர்வதைக் கண்டார். ஆகையால், முதலில் எக்ஸ்கதிர்கள் தடம் கண்டறிய (to detect X-rays) பேரியம் பிளாடினோ சைனைடு கரைசலால் பூசப்பட்ட திரையே பயன்படுத்தப்பட்டது. அதன்பின் ஒளிப் படத் தகட்டைப் பயன்படுத்தினர்.

எக்ஸ்கதிர்கள் வாயுவின் வழியாகச் செல்லும்பொழுது அவ் வாயு அயனியாக்கப்படுகிறது என்பதை இந் நூலின் முற்பகுதியில் விரிவாகக் கண்டோம். எக்ஸ்கதிர்கள் வாயுவை அயனியாக்கும் இத் தன்மையையே, அக் கதிர்களைக் கண்டறியப் பயன்படுத்தினர்.

மேற்கூறியவற்றிலிருந்து எக்ஸ்கதிர்களின் தடத்தைக் கீழ்க் கண்ட மூன்று வகைகளில் கண்டறியலாம் :

(1) பேரியம் பிளாடினோ சைனைடு கரைசலால் பூசப்பட்டுள்ள திரை ஒளிர்தலைப் பயன்படுத்தல்.

(2) ஒளிப்படத் தகட்டைப் பயன்படுத்தல்.

(3) வாயுவை அயனியாக்கும் தன்மையைப் பயன்படுத்தல்.

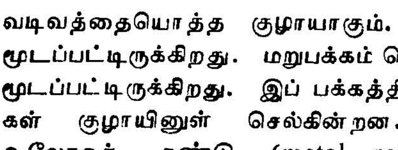
இம் மூன்று வகைகளில் ஒளிப்படத் தகட்டைக் கொண்டு தடம் கண்டறிதலே சிறந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. அதோடு, ஒளிப்படத் தகட்டின்மூலம் தடம் கண்டறிதலைக் கொண்டு எக்ஸ் கதிர்களின் விளிம்பு விளைவைப் (X-ray diffraction) பற்றி மிகவும் விரிவாகத் தெரிந்துகொள்ளலாம்.

ஒரு புள்ளி வழியாகச் செல்லும் எக்ஸ்கதிர்கள் அனைத்தையும் சேர்ந்தாற்போல் கண்டறிந்து குறிப்பதற்கு ஒளிப்படத் தகட்டால் தான் இயலும். மற்ற இருவழிகளாலும் இது எளிதில் முடியாது.

அதோடு எக்ஸ்கதிர்கள் விளிம்பில் வளைந்து வரும்போது (X-ray diffracted) நேராகச் செல்லாமல், பல கோணங்களில் வளைந்து செல்கின்றன. இவ்வாறு பல கோணங்களில் வளைந்து செல்லும் எக்ஸ்கதிர்களை அப்படியே மாறாமல் ஒளிப்படத் தகட்டால்தான் காட்டமுடியும்.

வாயுவை அயனியாக்கும் தன்மையிலிருந்து கண்டறிதல் (Ionisation detectors)

ஒரு வாயுவின் வழியாக எக்ஸ்கதிர்களைச் செலுத்தும்பொழுது எக்ஸ்கதிர்களின் சில போட்டான்கள் வாயுவின் அணுக்களோடு மோதுகின்றன. இதனால் இவ் வாயு அயனியாக்கப்படுகிறது. அதாவது வாயுவின் அணுக்கள் எல்லாம் நேர் அயனிகளாகவும் (positive ions), எதிர் அயனிகளாகவும் (negative ions–எலக்ட்ரான்கள்) பிரிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு பிரிக்கப்பட்ட நேர் அயனிகளும், எதிர் அயனிகளும் முறையே எதிர்மின்வாயையும், நேர்மின்வாயையும் நோக்கிச் செல்கின்றன. இதனால் மின்னோட்டம் உண்டாகிறது. இம் மின்னோட்டத்திற்கு அயனி ஓட்டம் (Ionisation current) என்று பெயர். அயனி ஓட்டம் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவைப் (Intensity of X-rays) பொறுத்திருக்கிறது. அதாவது எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு அதிகமானால், அயனி ஓட்டமும் அதிகமாகிறது. ஆகையால், அயனி ஓட்டத்தைக்கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை அளந்து அறியலாம். அயனி ஓட்டத்தை அளக்க உதவும் கருவிக்கு அயனிக் கலம் (Ionisation chamber) எனப் பெயர். அயனிக் கலத்தின் அமைப்பைப் படம் 7-ல் காணலாம்.



படம் 7. அயனிக்கலம்

படத்தில் C என்பது உலோகத்தாலான உள்ளீடற்ற (hollow) உருளை வடிவத்தையொத்த குழாயாகும். இக் குழாயின் ஒரு பக்கம் மூடப்பட்டிருக்கிறது. மறுபக்கம் மெல்லிய அலுமினியத் தகட்டால் மூடப்பட்டிருக்கிறது. இப் பக்கத்தின் வழியாகத்தான் எக்ஸ்கதிர்கள் குழாயினுள் செல்கின்றன. குழாயினுள்ள AB என்ற உலோகத் தண்டு (metal rod) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இவ் உலோகத் தண்டு E என்ற குவாட்ரன்ட் எலக்ட்ரா மீட்டரோடு (Quadrant electrometer) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. உலோகத் தண்டிற்கும், குழாய்க்கும் இடையில் அதிக அளவுள்ள மின்அழுத்தம் பாட்டரியின்மூலம் செலுத்தப்படுகிறது. பாட்டரியின் ஒருமுனை நிலத்தோடு (earthed) இணைக்கப்படுகிறது.

குழாய் ஏதாவது ஒரு வாயுவால் நிரப்பப்படுகிறது. குழாயில் உள்ள வாயுவின் அழுத்தம், வெளி அழுத்தத்திற்குச் (Atomospheric pressure) சமமாக இருக்கிறது. சாதாரணமாக ஹைட்ரஜன் (hydrogen), கார்பன் மானுக்ஸைடு (Carbon monoxide), கார்பன் டை ஆக்ஸைடு (Carbon di oxide), சல்பர் டை ஆக்ஸைட் (Sulphur di oxide), மெதில் புரோமைட் (Methyl bromide), போன்ற வாயுக்களால் குழாய் நிரப்பப்படுகிறது.

எக்ஸ்கதிர்கள் குழாயின் ஒரு பக்கத்தில் வைக்கப்பட்டிருக்கும அலுமினியத் தகட்டின் வழியாகக் குழாய்க்குள் சென்றவுடன் குழாயில் நிரப்பப்பட்டிருக்கும் வாயுவை அயனிகளாகப் பிரித்து அயனி ஓட்டத்தை உண்டாக்குகிறது. உலோகத் தண்டிற்கும் குழாய்க்கும் இடையில் அதிக அளவுள்ள மின் அழுத்தத்தைச் செலுத்துவதனுல் நேர்அயனிகளும், எதிர் அயனிகளும் மின்னூட்டத்தைப் (electric charges) பெறுகின்றன. அயனிகள் பெற்ற மின்னூட்டத்தைக் குவாட்ரன்ட் எலக்ட்ரா மீட்டர்மூலம் அளக்கலாம்.

அயனிக் கலத்தில் நேர்மின்வாய்க்கும். கலத்தின் சுவர்களுக்கும் இடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தம் கிட்டத்தட்ட 200 அல்லது 300 வோல்ட் வரை இருக்கலாம். இந் நிலையில் அயனிக் கலத்தில் உண்டாகும் அயனி ஓட்டம், வாயுவால் உட்கவரப்படும் எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஓர் எக்ஸ்கதிர் போட்டான் வாயுவால் உட்கிரகிக்கப்பட்டால், அதனுல் பிரிக்கப்படும் எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை மிகக் குறைவாக இருக்கும். எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை குறைந்தால், அயனி ஓட்டத்தின் அளவு குறைகிறது. எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு விளைவுத் தன்மையை (X-ray diffraction) அறிய முதன் முதலில் அயனிக் கலத்தையே பயன்படுத்தினர். இச் சோதனைகளின்மூலம் சில முக்கியமான உண்மைகள் வெளிப்பட்டன. அதாவது எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களின் எண்ணிக்கை குறைவாக இருந்தால் அதனுல் பிரிக்கப்கப்படும். எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் குறைவாகவே இருக்கும் இதனுல் அயனி ஓட்டமும் குறைகிறது. இக் குறைந்த அயனி ஓட்டத்தை மிகவும் துல்லியமாக அளக்க இயலவில்லை. அதாவது எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை மிகவும் துல்லியமாக அளக்க முடியவில்லை.

எனவே, எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை மிகவும் துல்லியமாக அளக்க, எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களால் பிரிக்கப்படும் எலக்ட்ரான்

களின் எண்ணிக்கை அதிகமாக இருக்கவேண்டும். மின்வாய் களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தத்தை மிகவும் அதிக அளவுள்ளதாகச் செய்தால் (சுமார் 800 முதல் 900 வோல்ட்), குறைந்த எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களாக இருந்தாலும் அதிக அளவு அயனிகள் வாயுவிலிருந்து பிரிக்கப்படும். அதாவது, அதிக அளவு எலக்ட்ரான்கள் பிரிக்கப்படும். இந்த உண்மையை ஈ. ருதர்ஃபோர்ட் (E. Rutherford), எச். கெய்கர் (H. Geiger) ஆகிய இருவரும் 1908ஆம் ஆண்டு கண்டார்கள்.

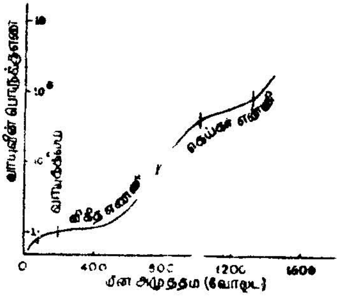
உதாரணமாக, ஒரே ஓர் எக்ஸ்கதிர் போட்டான் குழாயி லுள்ள வாயுவில் செலுத்தப்படுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். மின்வாய்களுக்கிடையில் அதிக அளவு மின்அழுத்தத்தைச் செலுத்தும்பொழுது, இந்த ஒரு போட்டான் வாயுவின் சில அணுக் களோடு மோதிச் சில எலக்ட்ரான்களைப் பிரிக்கின்றன. மின்வாய் களுக்கு இடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தம் அதிகமாக இருப் பதன் காரணமாக, இவ்வாறு பிரிந்த எலக்ட்ரான்கள் அதிக ஆற்றல் பெறுகின்றன. அதிக ஆற்றல்பெற்ற இந்த எலக்ட்ரான்கள் வாயுவின் மற்ற அணுக்களோடு மோதுவதால், மற்ற அணுக்களும் அயனியாக்கப்பட்டு, நிறைய எலக்ட்ரான்கள் பிரிக்கப்படுகின்றன. இதனுல் அயனி ஓட்டத்தின் (Ionisation current) அளவு அதிக மாகிறது. இம் முறையால் குழாயினிலுள்ள வாயுவிற்குள் ஓர் எக்ஸ்கதிர் போட்டான் சென்ருலும் அதிக அயனி ஓட்டத்தைப் பெற முடிகிறது. இந்த அயனி ஓட்டத்தை எளிதில் துல்லியமாக அளக்க முடியும். அதாவது ஓர் எக்ஸ்கதிர் போட்டாளுக இருந் தாலும், அதனுல் உற்பத்தியாகின்ற அயனி ஓட்டம் அதிகமாக இருப்பதால், இந்த ஒரு போட்டானை எளிதில் தடம் கண்டறிய முடியும்.

இம்மாதிரி 800 அல்லது 900 வோல்ட் மின்அழுத்தத்தை மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் அயனிக் கலத்திற்கு விகித எண்ணி (Proportional counter) என்று பெயர். 800 முதல் 900 வோல்ட் மின்அழுத்தம் செலுத்தப்படும் விகித எண்ணியில், குறைந்த வோல்ட் மின்னழுத்தம் செலுத்தப்படும் அயனிக் கலத்தில் உற்பத்தியாகிற அயனிகளைக் காட்டிலும் 10,000 பங்கு அதிகமாக எலக்ட்ரான்கள் உற்பத்தியாகின்றன.

1928-ல் கெய்கர் (Geiger), முல்லர் (Muller) ஆகிய இருவரும் சேர்ந்து மற்ருேர் எண்ணிக்கையைக் (counter) கண்டுபிடித் தனர். இதற்கு 'கெய்கர்-முல்லர் எண்ணி' என்று பெயரிடப் பட்டது. இதில் மின்வாய்களுக் கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தம் கிட்டத்தட்ட 1000 வோல்ட்டுக்கும் அதிகம்.

கெய்கர்-முல்லர் எண்ணியில் பல கோடிக் கணக்காக அயனிகள் உற்பத்தி யாகின்றன.

அயனிக் கலம், விகித எண்ணி, கெய்கர் முல்லர் எண்ணி ஆகிய இம் மூன்றிலும் வாயுவின் பெருக்கு எண்ணிற்கும் (Amplification factor), மின் வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப் படும் மின் அழுத்தத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைப் படம் 8-ல் காணலாம்.



படம் 8. மின்அழுத்தம்—வாயு வின் பெருக்கு எண்

5. எக்ஸ்கதிர்களின் தன்மைகள்
(Properties of X-Rays)

பருப்பொருள்களால் உட்கவரப்படும் எக்ஸ்கதிர்கள் (Absorption of X-rays).

எக்ஸ்கதிர்கள் பருப் பொருளினூடே (matter) செல்லும் பொழுது அவற்றில் பெரும்பகுதிகள் பருப்பொருளால் உட்கவரப்படு கின்றன. சில பகுதிகள் உட்கவரப்படாமல் வெளிவந்துவிடு கின்றன. பருப் பொருளால் உட்கவரப்பட்டு அதிலிருந்து வெளி வரும்பொழுது எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு குறைந்ததாகக் காணப்படு கிறது.

எவ்வளவு எக்ஸ்கதிர்கள் பருப்பொருளால் உட்கவரப்படு கின்றன? எல்லாப் பொருள்களும் ஒரே அளவு எக்ஸ்கதிர்களை உட்கவர்கின்றனவா? என்பதைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைக் கொண்டு அறிந்து கொள்ளலாம்.

எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை I என்று குறிப்பிடுகிறோம். பருப் பொருளால் உட்கவரப்படும் அளவு (dI) என்றும், பருப் பொருளின் கனம் (dx) என்றும் குறிப்பிடப்படுகிறது. அதாவது (I) அளவு செறிவுள்ள எக்ஸ்கதிர்களில் dI அளவு, dx கனமுள்ள பருப் பொருளால் உட்கவரப்படுகிறது. பருப்பொருளால் உட்கவரப்படும் அளவு பருப்பொருளின் கனத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது.

எனவே,

$$\left(\frac{d}{I}\right) \text{ என்ற அளவு } dx\text{ஐப் பொறுத்திருக்கிறது.}$$

அதாவது,

$$\left(\frac{dI}{I}\right) \propto dx.$$

$$\left(\frac{dI}{I}\right) = -\mu\, dx \tag{1}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் μ என்ற விகித மாறிலிக்கு (Constant of proportionality) உட்கவர் எண் (Absorption coefficient) எனப் பெயர். எதிர்க்குறி (negative sign) செறிவு குறைவதைக் (decrease in intensity) காட்டுகிறது.

மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டைத் தொகையிட்டதன்மூலம் (on integration).

$$\log I = -\mu x + \log I_0 \qquad \ldots \qquad (2)$$

என எழுதலாம். இங்கே $\log I_0$ என்பது தொகையிட்ட மாறிலி (Constant of integration).

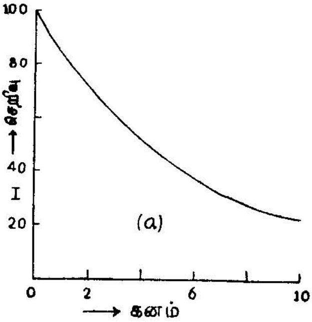
இந்த இரண்டாவது சமன்பாட்டை

$$\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\mu x \qquad \ldots \qquad (3)$$

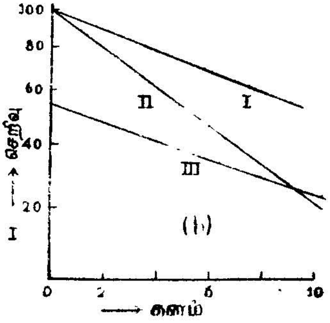
எனவும் எழுதலாம். ஆகையால்,

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad \ldots \qquad (4)$$

இங்கு I_0 என்பது பருப்பொருளின் கனம் பூச்சியமாக (Zero) இருக்கும்பொழுது உள்ள எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு; I என்பது கனமுள்ள பருப்பொருளின் ஊடே சென்று வெளிவந்த எக்ஸ்கதிர்



படம் 9 (a).
எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு—
பருப்பொருளின் கனம்



படம் 9 (b).
எக்ஸ்கதிர்களின் மடக்கை
செறிவு— பருப்பொருளின்
கனம்

களின் செறிவு. மேலே உள்ள சமன்பாட்டிலிருந்து பருப்பொருளின் கனம் அதிகமாக அதிகமாகப் பருப்பொருளின் ஊடே சென்றுவந்த எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு குறைகிறது என்பதைக் காணலாம். எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவிற்கும் பருப்பொருளின் கனத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை வரைபடம் 9(a) காட்டுகிறது. இதுபோல் எக்ஸ்கதிர்களின் மடக்கைச் செறிவிற்கும் (log I), பருப்பொருளின் கனத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு நேர்கோட்டு விகிதத்தில் இருப்பதை அடுத்துள்ள வரைபடம் காட்டுகிறது. இந்த வரைபடத்தில் உள்ள கோட்டின் சரிவு (slope) எக்ஸ்கதிர்களின் பண்பைக் குறிக்கிறது. படம் 9(b)-ல் செறிவு, மடக்கையிலும் (Semi logarithmic graph), அலைநீளம் சென்டிமீட்டரிலும் தரப்பட்டுள்ளன. மேலும் படம் 9(b)-ல், I-ம், III-ம் ஒரே அலைநீளத்தையும், ஆனால் வேறுபட்ட செறிவையும் பெற்றுள்ளன. ஆனால், 2ஆவது கோடு, IIஆவது கோடுபோல் ஒரே செறிவையும் ஆனால் நீண்ட அலைநீளத்தையும் பெற்றிருக்கிறது.

மேற்சொன்ன நாலாவது சமன்பாட்டை வேறுவிதமாக மாற்றிக் கூறலாம். இச் சமன்பாடு எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவிற்கும் பருப்பொருளின் கனத்திற்கும் உள்ள தொடர்பைக் குறிக்கிறது. அதற்குப் பதில் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவிற்கும், பருப்பொருளின் பொருண்மைக்கும் (mass) உள்ள தொடர்பாக இச் சமன்பாட்டை மாற்றியமைக்கலாம். இதன்படி முன்னால் குறிப்பிட்ட சமன்பாடு கீழ்வருமாறு மாறுகிறது :

$$I = I_o e^{-\left(\frac{\mu}{\rho}\right)\rho x} \quad \ldots \quad (5)$$

மேற்காட்டிய 5ஆவது சமன்பாட்டில், $\left(\frac{\mu}{\rho}\right)$ என்பது எக்ஸ்கதிர்களை உட்கவரும், பருப்பொருளின் தன்மையைக் காட்டும் மற்றொரு மாறிலி. $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$ என்ற இந்த மாறிலிக்கு 'நிறை உட்கவர் எண்' (Mass absorption coefficient) எனப் பெயர்.

நிறை உட்கவர் எண்ணுக்கும், உட்கவர் எண்ணுக்கும் உள்ள வேறுபாடுகள்

ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்புள்ள எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள் (beam of X-rays) ஒரு கன சென்டிமீட்டர் (cubic centimetre) பருப்பொருளினூடே செல்லும்பொழுது, பருப்பொருளினால் உட்கவ

ரப்படும் எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றலின் பின்னமே (fraction of energy absorbed) உட்கவர் எண்ணாகும் (μ_m).

ஒரு சதுர சென்டிமீட்டர் பரப்புள்ள எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள் ஓர் அலகு நிறையுள்ள (unit mass of the material) பருப்பொருளினூடே செல்லும்பொழுது உட்கவரப்படும் எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றலின் பின்னமே நிறை உட்கவர் எண்ணாகும் (μ_m).

பருப்பொருளின் 'நிறை உட்கவர் எண்' (μ_m) பருப்பொருளின் இயற்பியல் தன்மைகளையோ (physical properties) அல்லது இரசாயனத் தன்மைகளையோ (chemical properties) பொறுத்து மாறுபடாது. ஆனால், பருப்பொருளின் உட்கவர் எண் (μ_m) மேற்கூறிய தன்மைகளைப் பொறுத்து மாறுபடும்.

எடுத்துக்காட்டாக, குறிப்பிட்ட எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைக்கு நீரின் (water) உட்கவர் எண், நீராவியின் (steam) உட்கவர் எண்ணைக் காட்டிலும் அதிகம். ஆனால், அதே எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைக்கு நீர், நீராவி ஆகிய இவற்றின் நிறை உட்கவர் எண் ஒன்றேயாகும்.

நிறை உட்கவர் எண்ணின் இந்தக் குறிப்பிடத்தக்க பண்பு எக்ஸ்கதிருக்கும், கட்புலன் ஒளிக்கும் (visible light) உள்ள வேறுபாட்டைத் தெளிவாக்குகிறது.

எடுத்துக்காட்டாக, வைரத்தினுள் (dimond) ஒளி புகும். ஆனால், கிராபைட்டுக்குள் ஒளி புகா. கிராபைட் ஒளியை உட்கவரும். வைரம் ஒளியை உட்கவராது. எக்ஸ்கதிர்களுக்கு, வைரம், கிராபைட் ஆகிய இரண்டும் ஒரே 'நிறை உட்கவர் எண்ணைப்' பெற்றதாயிருக்கின்றன. அதாவது வைரம், கிராபைட் ஆகிய இரண்டும் எக்ஸ்கதிர்களை ஒரே அளவு உட்கவர்கின்றன.

மேற்கூறியதுபோல், திடநிலையிலுள்ள பாதரசத்தினுள்ளும் திரவநிலையிலுள்ள பாதரசத்தினுள்ளும் ஒளி புகா. பாதரச ஆவியினுள் ஒளி புகும். ஆனால் திட, திரவ, ஆவி ஆகிய மூன்று நிலையிலும் உள்ள பாதரசம் ஒரே நிறை உட்கவர் எண்ணை உடையதாக இருக்கின்றன. அதாவது திட, திரவ, ஆவி ஆகிய மூன்று நிலையிலும் உள்ள பாதரசம் எக்ஸ்கதிர்களை ஒரே அளவு உட்கவர்கின்றன எனத் தெரிகிறது.

எக்ஸ்கதிர்களை உட்கவரும் ஒரு பொருள் இரசாயனச் சேர்மமாகவோ (chemical compound) அல்லது உலோகக் கலவை

யாகவோ (alloy) இருந்தால், அப் பொருளின் நிறை உட்கவர் எண், இயைபு உறுப்புகளின் (constituent or component elements) உட்கவர் எண்ணிலிருந்து கணக்கிடப்படுகிறது.

எடுத்துகாட்டாக க்யூப்ரிக் ஆக்சைடின் (cupric oxide) நிறை உட்கவர் எண்ணைக் கணக்கிடுவோம் :

0·71 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுள்ள எக்ஸ்கதிர்களுக்கு, செம்பு (copper) ஆக்ஸிஜன் இவற்றின் நிறை உட்கவர் எண் முறையே 49·7-ம், 1·50-ம் ஆகும். செம்பு, ஆக்ஸிஜன் இவற்றின் அணு எடை எண் (atomic weight) முறையே 63·57-ம், 16-ம் ஆகும். ஆகையால் க்யுப்ரிக் ஆக்ஸைடு என்பது $\frac{63·57}{63·57 + 16} = 0·80$ பங்கு செம்பும், $\frac{16}{63·57 + 16} = 0·20$ பங்கு ஆக்ஸிஜனும் கலந்தது.

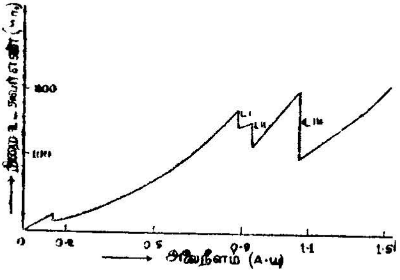
எனவே,

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Cuo} = 0·80\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{cu} + 0·20\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{o}$$

$$\left(\frac{\mu}{\rho}\right)_{Cuo} = (0·8 \times 49·7) + (0·2 + 1·5) = 40·06.$$

மேற்காட்டிய விளக்கப்படி, க்யுப்ரிக் ஆக்ஸைடின் நிறை உட்கவர் எண் 40·06 எனக் கணக்கிடப்படுகிறது.

பிளாட்டினத்தின் நிறை உட்கவர் எண்ணை வெவ்வேறு அலை நீளத்தில் கண்டுபிடித்து அவற்றிற்குள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட வரைபடத்தின் மூலம் விளக்கிக் கூறலாம்.



படம் 10. பிளாட்டினத்தின் நிறை உட்கவர் எண்—அலை நீளம்

வரைப்படத்தில் குறிப்பிட்ட இடங்களைத் தவிர மற்ற இடங்களில் அரை நீளங்கள் குறைய நிறை உட்கவர் என்னும் குறைகிறது. மேலே உள்ள படத்தில், 1·5 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலை நீளத்திலிருந்து 1·07 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலைநீளம் வரை பிளாட்டினத்தின் நிறை உட்கவர் எண் விரைவாகக் குறைகிறது. இம்மாதிரி இரண்டு இடங்களில் அதிகமாகிக் குறைகிறது. அதற்குப் பிறகு 0·9 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலைநீளத்திலிருந்து 0·15 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலைநீளம் வரை விரைவாகக் குறைகிறது. மறுபடியும் அவ்விடத்தில் சிறிது அதிகமாகிப் பிறகு குறைகிறது.

ஒரே சீராக, அலைநீளம் குறையக் குறைய நிறை உட்கவர் எண் குறையாமல், விட்டுவிட்டு, தொடர்ச்சியில்லாமல் சில இடங்களில் அதிகமாகிக் குறைகிறது. இம்மாதிரியான தொடர்ச்சியின்மைக்கு மாறுநிலையான உட்கவர் விளிம்பு (critical absorption edges) எனப் பெயர். இதைக் கண்டுபிடித்தவர் எம். டிபிராக்லி என்பவர்.

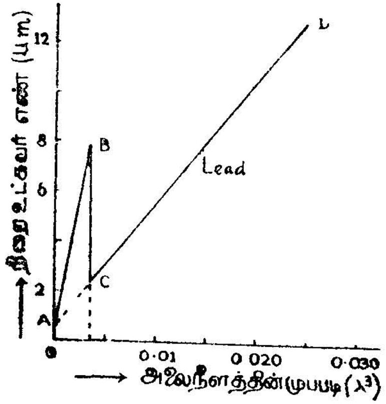
மேற்குறிப்பிட்டபடி, எந்த அலைநீளத்தில் இந்த மாறுநிலையான உட்கவர் விளிம்பு உண்டாகிறதோ, அந்த அலைநீளத்திலுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள், பிளாட்டினம் அணுக்களின் கூடுகளில் (shells) ஏதேனும் ஒன்றிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை வெளித்தள்ளப் போதுமான சக்தியைப் பெற்றிருக்கிறது எனப் பொருள்.

படம் 10-ல் காட்டியபடி, 0·16 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள் பிளாட்டினம் அணுக்களில் உள்ள K என்ற கூட்டிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை வெளித்தள்ளப் போதுமான சக்தியைப் பெற்றிருக்கிறது. 0·16 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலை நீளத்திற்குச் சிறிது குறைவான அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள் நன்றாக உட்கவரப்படுகின்றன. இதைவிட மிகவும் குறைவான அலை நீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றல் மிகவும் அதிகமாகையால் பருப்பொருளால் உட்கவரப்படாமல், இந்த எகஸ்கதிர்கள் பொருளைக் கடந்து சென்றுவிடும். ஆகையால், எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்குக்கீழ் குறையக் குறைய, பருப்பொருளால் உட்கவரப்படுவதும் குறைகிறது. எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவிற்குமேல் அதிகமானால், அவற்றின் ஆற்றல் முன்னைவிடக் குறைகிறது. ஆகையால், பிளாட்டினம் அணுக்களில் உள்ள K என்ற கூட்டிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுவதற்கு வேண்டிய ஆற்றலைவிடக் குறைகிறது. இந்த நிலையில் K என்ற கூட்டிற்கு அடுத்த கூடான L என்ற கூட்டிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுவதற்கு

வேண்டிய ஆற்றலைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால் L என்ற கூட்டிலிருந்து எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுகின்றன.

பிளாட்டினத்தில் நிறை உட்கவர் எண்ணிற்கும், எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை விளக்கியதுபோல், காரீயத்தின் (lead) நிறை உட்கவர் எண்ணிற்கும் (μ_m), அலைநீளத்தின் மும்மடிக்கும் (μ_m) உள்ள தொடர்பைப் படம் 11 காட்டுகிறது.

இந்த வரைபடத்தில் K விளிம்பு தொடர்ச்சியின்மை (K-edge discontinuity) BC என்ற பகுதியில் ஏற்படுகிறது, BC-க்கு இடது பக்கம் AB என்ற நேர்கோடும், வலது பக்கம் CD என்ற நேர்கோடும் இருக்கின்றன. AB என்ற கோடும், CD என்ற கோடும், μ_m அச்சில் ஒரே வெட்டுத் துண்டை (intercept)



படம் 11. காரீயத்தின் நிறை உட்கவர் எண்ணுக்கும், அலைநீளத்தின் மும்மடி

உண்டாக்குகின்றன. இந்த இரண்டு நேர்கோடுகளுக்கும் உரிய கணித சமன்பாடு (Mathematical equation) கீழே தரப்பட்டுள்ளது :

$$\mu_m = C_1 \lambda^3 + \sigma \quad \ldots \quad (1)$$

என்பது AB என்ற கோட்டிற்குரிய சமன்பாடு.

$$\mu_m = C_2 \lambda^3 + \sigma \quad \ldots \quad (2)$$

என்பது CD என்ற கோட்டிற்குரிய சமன்பாடு. இந்த இரண்டு சமன்பாட்டிலும் σ என்பது μ_m என்ற அச்சில்

உண்டாகிற வெட்டுத் துண்டு. σ என்பதற்கு நிறை சிதறல் எண் (mass scattering coefficient) எனப் பெயர். மேற்கண்ட இரண்டு சமன்பாடுகளிலிருந்து, நிறை உட்கவர் எண் $\left(\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \right)$ இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது என்பதை அறிகிறோம்.

ஒன்று $C_1 \lambda^3$ அல்லது $C_2 \lambda^3$. இதற்கு உண்மையான நிறை உட்கவர் எண் (true mass absorption coefficient) அல்லது கிளர் ஒளி தரும் கதிரின் நிறை உட்கவர் எண் (fluorescent ray mass absorption coefficient) எனப் பெயர். மற்றொன்று சிதறலினால் (scattering) உண்டாவது. அதனால் இதற்கு நிறைசிதறல் எண் எனப் பெயர். மேற்சொன்னவற்றைக் கீழ்க்கண்ட உதாரணங்களால் விளக்கலாம்.

I_o-செறிவுள்ள ஒற்றைநிற எக்ஸ்கதிர்கள் (Monochromatic X-ray) ஓர் ஈயத் தகட்டின்மேல் செங்குத்தாக விழுவதாகக் கொள்வோம். உலோகத் தகட்டிற்குப் பின்புறம் வைக்கப்பட்டுள்ள அயனிக் கலம், ஈயத் தகட்டின் வழியாக வரும் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை அளப்பதாகக் கொள்வோம். ஈயத் தகட்டைக் கடந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை I என்று குறிப்பிடுவோம். ஈயத் தகட்டின்மேல் விழும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் (primary X-rays), அலைநீளம் (wave-length) $\lambda_o = 0 \cdot 1$ ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகானால், எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களின் ஆற்றல் (energy) கீழ்வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது :

$$\text{போட்டான்களின் ஆற்றல்} = E = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6 \cdot 62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{0 \cdot 1 \times 10^{-8}} \text{ எர்க்ஸ்.}$$

1 எல்க்ட்ரான் வோல்ட் $= 1 \cdot 6 \times 10^{-12}$ எர்க்ஸ்

ஆகையால், போட்டான்களின் ஆற்றல் எலக்ட்ரான் வோல்ட்

$$E = \frac{6 \cdot 62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{0 \cdot 1 \times 10^{-8} \times \cdot 6 \times 10^{-12}}$$

$$= 124000 \text{ எலக்ட்ரான் வோல்ட்}$$

ஆகையால், உலோகத் தகட்டைச் செங்குத்தாகத் தாக்கும் எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களின் ஆற்றல் 124000 எலக்ட்ரான்

வோல்ட்டாகும். மேற்சொன்ன ஆற்றலுடைய போட்டான்களில் ஒரு சில போட்டான்களைத் தவிர, மற்ற எல்லாப் போட்டான்களும் உலோகத் தகட்டால் உட்கவரப்படாமலும், சிதறப்படாமலும் ஈயத் தகட்டிற்குள் சென்று அதன்பின் வெளிவருகின்றன. இவற்றின் செறிவை (I) அயனிக்கலம் அளந்து கூறுகிறது. ஆனால், சில போட்டான்கள் மட்டும் உலோகத் தகட்டின் சில அணுக்களில் K கூடுகளிலிருக்கும் எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுவதற்குத் தங்களுடைய ஆற்றலைப் பயன்படுத்துகின்றன. இதனால் இப் போட்டான்கள் மறைந்துவிடுகின்றன. இவ்வாறு மறைந்த போட்டான்கள் உலோகத் தகட்டால் உண்மையில் உட்கவரப்பட்டு விட்டதாகச் சொல்லப்படுகின்றன. இவையே "உண்மையான நிறை உட்கவர் எண்" (true mass absorption coefficient) ஆகும்.

முன்னால் குறிப்பிட்ட (1), (2) சமன்பாடுகளில் உள்ள $C_1 \lambda^3$ அல்லது $C_2 \lambda^3$ என்ற பகுதி இதையே குறிக்கின்றது. பொதுவாக $C_1\lambda^3$ அல்லது $C_2\lambda^3$ என்ற பகுதி T என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. அணுக்களின் K கூடுகளிலிருக்கும் எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுவதற்கு வேண்டிய ஆற்றல் 87,600 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டுகளே. 1,24000 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றலுள்ள எக்ஸ்கதிர் போட்டான்கள், மேற்குறிப்பிட்ட எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுவதற்கு 87,600 எலக்ட்ரான் வோல்ட் ஆற்றலைப் பயன்படுத்திய பிறகு, மீதியுள்ள 36·400 எலக்ட்ரான்வோல்ட் வெளித் தள்ளப்பட்ட எலக்ட்ரான்களுக்குக் கொடுக்கின்றன. ஆகையால், அணுக்களின் K கூடுகளிலிருக்கும் எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களைவிட்டு வெளிவரும்பொழுது 36,400 எலக்ட்ரான் வோல்ட் இயக் ஆற்றலோடு (Kinetic energy) வெளிவருகின்றன. அதாவது அணுக்களிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் மிகுந்த வேகத்துடன் வருவதாகப் பொருள். இவ்வாறு மிகுந்த வேகத்துடன் வரும் எலக்ட்ரான்களுக்குத் 'துணை பீட்டாக் கதிர்கள்' (secondary beta rays) எனப் பெயர். அதிக வேகத்துடன் வரும் எலக்ட்ரான்களில் நூற்றில் ஒரு பங்கு, உலோகத் தகட்டின் மற்ற அணுக்களில் மோதி அதனால் தொடர்ந்து எக்ஸ்கதிர்களை (continuous X-radiation) உற்பத்தி செய்கின்றன. இவற்றில் சில எலக்ட்ரான்கள் அணுக்களின் L கூட்டிலிருந்த எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுகின்றன.

அணுக்களின் C கூட்டிலிருக்கும் எலக்ட்ரான்கள் வெளிவந்த பிறகு, அந்த இடத்தை நிரப்ப K கூட்டிற்கு வெளியே இருக்கும் மற்ற கூடுகளிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் K கூட்டிற்குத் தாவுகின்றன. இவ்வாறு தாவும்பொழுது அந்த உலோகத்தின் சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்

களை (characteristic X-rays) வெளிவிடுகின்றன. இவ்வாறு வெளியிடப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்களுக்குத் துணை எக்ஸ்கதிர்கள் (secondary X-rays) அல்லது கிளர் ஒளி தரும் எக்ஸ்கதிர்கள் (fluorescence X-radiation) எனப் பெயர்.

மேற்கூறிய வகைகளிலிருந்து, $C_1 \lambda^3$ அல்லது $C_2 \lambda^3$ என்ற பகுதியைக் கிளர் ஒளிதரும் கதிரின் நிறை உட்கவர் எண் (Fluorescent ray mass absorption coefficient) என ஏன் குறிப்பிடுகிறோம் என்பது தெளிவாகிறது.

அடுத்த பகுதியான, σ என்பதை நிறை சிதறல் எண் (mass scattering coefficient) எனக் குறிப்பிட்டோம். அஃது எவ்வாறு உண்டாகிறது என்பதைக் கீழே பார்ப்போம்.

உலோகத் தகட்டைச் செங்குத்தாகத் தாக்கும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களில், சிறிதளவு உலோகத் தகட்டால் உட்கவரப்படுகின்றன எனக் கண்டோம், மற்றும் சிறிதளவு எக்ஸ்கதிர்கள் உலோகத் தகட்டின்மீது தாக்கிய திசையினின்றும் மாறுபட்டு வேறு திசையை நோக்கி உலோகத் தகட்டிலிருந்து கடந்து செல்லுகின்றன. இக் கதிர்கள் அயனிக் கலத்திற்குள் நுழையாது. ஆகையால், இவற்றின் செறிவையும் அளக்க இயலாது.

சுருங்கக் கூறின், அயனிக் கலத்திற்குள் நுழையாத மேற்சொல்லப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்கள் உலோகத் தகட்டைத் தாக்கும்பொழுது எத்திசையை நோக்கி வருகின்றனவோ, அத் திசையினின்றும் மாறுபட்டு, வேறு திசையை நோக்கி உலோகத் தகட்டால் சிதறியடிக்கப்படுகின்றன (scattering). இவ்வாறு சிதறிய எக்ஸ்கதிர்களைக் குறிக்கும் பகுதியே σ என்பதாகும். இந்த எக்ஸ்கதிர்கள் இருவகையான அலைநீளங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. ஒரு பகுதி கதிர்கள் உலோகத் தகட்டைத் தாக்கிய முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தையே (primary X-rays) பெற்றிருக்கின்றன. இப் பகுதிக்கு மாற்றப்படாத எக்ஸ்கதிர்கள் (un modified X-rays) அல்லது ஓரியல் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்கள் (coherently scattered X-rays) எனப் பெயர். மற்றுமொரு பகுதி கதிர்களின் அலைநீளம் முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் காட்டிலும் சற்று அதிகமாகவே இருக்கும். இப்பகுதிக்கு மாற்றப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்கள் (modified X-rays) அல்லது மாறியல் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்கள் (incoherently scattered X-rays) எனப் பெயர். ஏ. எச்.-காம்ப்டன் (A. H. Compton) என்பவர் முதன் முதலில் இந்த அலைநீளத்தை அளந்து கணக்கிட்டதால் இது காம்ப்டன் சிதறல் எனவும் வழங்கப்படுகிறது (Compton scattering). எக்ஸ்கதிர்

களின் விளிம்பு வளைவுத் தன்மையை (X-ray diffraction) அறிந்துகொள்ள விஞ்ஞானிகள் ஓரியல் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்களையே பயன்படுத்தினார்கள். இதன்மூலம் திடப்பொருள்கள் (solids), மூலக் கூறுகள் (molecules) ஆகிய இவற்றின் அணுக்களின் அமைப்பையும், அணுக்களில் எலக்ட்ரான்களின் அமைப்புத் தன்மையையும் அறிந்துகொள்ள முடிந்தது. அடுத்த பகுதியில் இதுபற்றி விரிவாக விளக்கப்பட்டிருக்கிறது.

முன் பகுதியில் 1, 2 ஆகிய இரு சமன்பாடுகளிலும் உள்ள σ-என்ற உறுப்பு (term) மாற்றப்பட்ட, மாற்றப்படாத சிதறல் எக்ஸ்கதிர்களைச் சேர்த்தே குறிக்கிறது. மேற்குறிப்பிட்ட சமன் பாட்டை நோக்கினால் σ என்ற உறுப்பு முதன்மை எக்ஸ்கதிர் களின் அலைநீளத்தைப் பொறுத்து மாறுபடாது எனத் தெரிகிறது. ஆனால், உண்மையில் அவ்வாறல்ல. அலைநீளம் அதிகமாக அதிக மாக σ-ன் மதிப்பும் சற்று அதிகமாகிறது. ஆனால், உண்மையான நிறை உட்கவர் எண்ணைப்போல் ($C_1 \lambda^3$ அல்லது $C_2 \lambda^3$) அவ்வளவு விரைவாக மாறுவதில்லை.

காம்ப்டன் சிதறலில், உலோகத் தகட்டிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் உலோகத் தகட்டைத் தாக்கும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் காட்டிலும் அதிகமாக இருப்பதாகக் கண்டோம். இவ்வாறு அதிகமாவது, முதன்மை எக்ஸ்கதிருக்கும் உலோகத் தகட்டிற்கும் உள்ள கோணத்தைப் (ϕ) பொறுத்து இருக்கிறது. இதைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டிலி லிருந்து தெரிந்து கொள்ளலாம்.

உலோகத் தகட்டிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் அலை நீளம், முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் காட்டிலும் $\Delta\lambda$ பங்கு அதிகமாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம்.

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\phi) \quad \ldots \quad (3)$$

$$\Delta\lambda = 0{\cdot}0243\,(1 - \cos\phi)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (Plank's constant), m-என்பது எலக்ட்ரான் நிறை (mass of the electron), c-என்பது ஒளியின் வேகம் (velocity of light), ϕ என்பது முதன்மை எக்ஸ்கதிருக்கும் உலோகத் தகட்டிற்கும் இடையே உள்ள கோணம்.

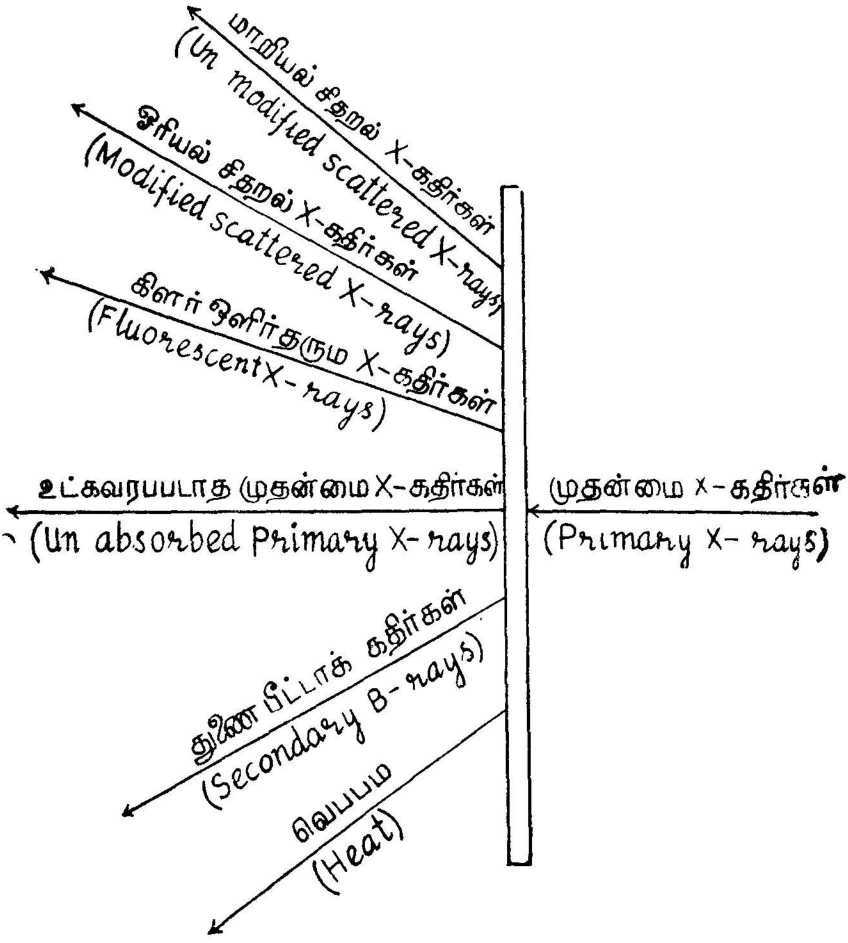
உலோகத் தகட்டின் அணுக்களின் உட்கூடுகளில் (inner orbit) இருக்கும் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல், அணுக்களின் வெளிக் கூடுகளில் (outer orbit) இருக்கும் எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றலைவிட அதிகம். உலோகத் தகட்டைத் தாக்கும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர் களின் ஒரு பகுதி உட்கூடுகளில் அமைந்திருக்கும் எலக்ட்ரான் களைத் தாக்குகின்றன. இந்த எலக்ட்ரான்களின் ஆற்றல் அதிக மாகையால் முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களால் இந்த எலக்ட்ரான்களைக் கூடுகளிலிருந்து வெளித் தள்ள இயலாது. ஆகையால், முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களில் ஒரு பகுதி உட்கூடுகளில் அமைந்து இருக்கும் எலக்ட்ரான்கள்மீது மோதி உலோகத் தகட்டிலிருந்து வேறு திசையை நோக்கி வெளிவருகின்றன. இவ்வாறு வெளிவந்த எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றலும், அலைநீளமும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர் களின் ஆற்றல், அலைநீளம் இவற்றின் மதிப்பையே பெற்றிருக் கின்றன. இவையே மாற்றப்படாத (un - modified) அல்லது ஓரியல் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்கள்.

முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் மற்றொரு பகுதி, உலோகத் தகட்டின் அணுக்களின் வெளிக் கூடுகளில் (outer orbit) இருக்கும் எலக்ட்ரான்களின்மீது மோதுகின்றன. வெளிக் கூடு களில் அமைந்து இருக்கும் எலக்ட்ரான்கள், தம்மைத் தாக்கிய எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றலிலிருந்து சிறிதளவு உட்கவர்கிறது. ஆகையால், முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றல் குறைவதால் அலைநீளம் அதிகமாகிறது. உலோகத் தகட்டிலிருந்து வெளிவரும் போது அலைநீளம் அதிகமுள்ள எக்ஸ்கதிர்களாக வெளிவரு கின்றன. இவையே மாற்றப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்கள் (modified X-rays) அல்லது மாறியல் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்கள் (Incoherently seattered X-rays) ஆகும்.

இப் பகுதியில் கூறப்பட்டவற்றிலிருந்து, ஓர் உலோகத் தகட்டையோ அல்லது ஏதேனும் ஒரு பருப்பொருளையோ முதன்மை எக்ஸ்கதிர்கள் செங்குத்தாகத் தாக்கும்பொழுது, அவை எவ்வாறு பிரிகின்றன என்று தெரிந்துகொண்டோம். இது படம் 12-ல் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. இப் பகுதியில் குறிப்பிட்ட காம்ப்டன் சிதறல் அடுத்த பகுதியில் விரிவாக விளக்கப்பட்டிருக்கிறது.

எக்ஸ்கதிர் விலகல் (Refraction of X-rays)

கண்ணாடியைக் கொண்டு ஒளிக் கதிர்களை (light rays) எதிரொளிக்க (reflection) முடியும் என்பது எல்லோருக்கும் தெரிந்த உண்மை. மேலும், ஒளிக்கதிர் ஓர் ஊடகத்திலிருந்து (medium) மற்றோர் ஊடகத்திற்குள் செல்லும்பொழுது, தான் சென்ற பாதையிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது. வெள்ளை நிறக்



படம் 12. முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் சிதறல்கள்

கதிர் (white light) கண்ணுடிப் பட்டகத்தால் ஏழு நிறங்களாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. இவை எல்லாம் கட்புலனுக்குத் தெரியக் கூடிய ஒளிக்கதிர்களின் தன்மைகளில் பலவற்றை எக்ஸ்கதிர்களும் பெற்றிருப்பதால், எக்ஸ்கதிர்களைப்போல் ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்ருேர் ஊடகத்திற்குச் செல்லும்பொழுது பாதை விலகிச் செல்லும் எனக் கொள்வது இயல்பே.

ராண்ட்சன், எக்ஸ்கதிர்களின் கண்டுபிடிப்பிற்குப் பிறகு ஒளிக் கதிர்களைப்போல் எக்ஸ்கதிர்களும் ஓர் ஊடகத்திலிருந்து மற்ருேர்

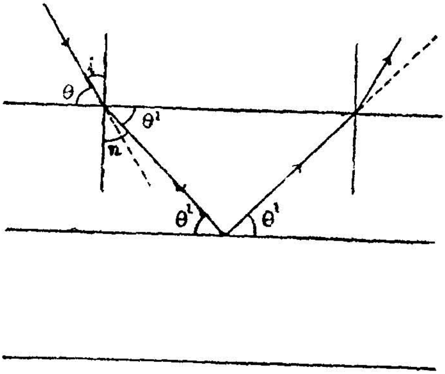
ஊடகத்திற்குச் செல்லும்பொழுது பாதை விலகிச் செல்கின்றனவா என்பதைக் காண முயன்றார். அவர் வெவ்வேறு பொருள்களாலான பட்டகத்தைக் கொண்டு (prisms of various materials) சோதனை செய்து பார்த்தார். அவருடைய முயற்சி வெற்றி பெறவில்லை. பிறகு அவர் வெள்ளிப் பொடி (silver powder), துத்த நாகப் பொடி (zinc dust) இவற்றினூடே எக்ஸ்கதிர்களைச் செலுத்திச் சோதனை செய்துபார்த்தார். இப் பொடிகளினின்று வெளிவந்த எக்ஸ்கதிர்கள் அவை நுழைந்த பாதையினின்றும் சிறிதளவேனும் விலகாமல் சென்றதைக் கண்டார். மேற்கண்ட சோதனைகளிலிருந்து எக்ஸ்கதிர்கள் ஒளிக் கதிர்களைப்போல் பாதை விலகிச் (refraction) செல்வதில்லை என ராண்ட்சன் உறுதிப் படுத்தினர்.

ஆனல், சர்க்கரை (sugar), ஜிப்சம் (gypsum) போன்ற படிகங்களிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட, மூன்று ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுக்கு (3 A, U.) அதிக அலை நீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள், பிராக்கின் (Bragg's Law) சமன்பாடான $2d \sin\theta = n\lambda$ என்பதில் பொருந்துவதில்லை என்பதை டபிள்யு. ஸ்டேன்ஸ்ட்ராம் (W. Stenstrom) என்பவர் கண்டார். எக்ஸ்கதிர்கள் மேற்சொன்ன படிகங்களில் செல்லும்பொழுது பாதை விலகிச் செல்வதால்தான் பிராக்கின் சமன்பாடு இம்மாதிரியான எக்ஸ்கதிர்களுக்குப் பொருந்துவதில்லை என்ற காரணத்தையும் அவரே காட்டினர். கால்செட் (Calcit) என்ற படிகத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்களும் மேற்கூறியபடி பிராக்கின் சமன்பாட்டில் பொருந்துவதில்லை என டுயேன் (Duane), செய்பான் (Seigbahn) என்ற இருவரும் காட்டினர்கள். மேற்சொன்ன காரணங்களால், பிராக்கின் சமன்பாட்டை, பாதை விலகிச் செல்லும் (refracted X-ays) எக்ஸ்கதிர்களுக்குத் தகுந்தாற்போல் மாற்றியமைக்க வேண்டிய அவசியம் ஏற்பட்டது.

பிராக்கின் மாற்றப்பட்ட சமன்பாடு (Modified Bragg's Law)

λ ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகு அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள் ஒரு படிகத்தின் மேற்பகுதியில் விழுவதாக வைத்துக் கொள்வோம். θ என்பதைத் தொடுகோணமாக (glancing angle) வைத்துக் கொள்வோம். எக்ஸ்கதிர்கள் படிகத்தினுள் நுழைந்தவுடன் அவை நுழைந்த பாதையினின்று விலகிச் செல்கின்றன. படிகத்தினுள் எக்ஸ்கதிர்கள் பாதை விலகுவதால் படிகத்தினுள்ளே அவற்றின் படுகோணமும் (angle of incidence), படிகத்தின் மேற்பரப்பில் அவற்றால் உண்டாக்கப்படும் படுகோணமும் ஒன்றாக இரா. படிகத்தின் மேற்பரப்பிற்கு அடுத்த ஓர் அடுக்கை (layer just below the surface) எடுத்துக் கொள்வோம். இந்த அடுக்கில் எக்ஸ்கதிர்களின் படுகோணம் θஆக இராது. θ' ஆக

இருக்கும். இந்த அடுக்கிற்குரிய பிராக்கின் சமன்பாடு கீழே தரப்பட்டுள்ளது :



படம் 13. பிராக்கின் சமன்பாட்டை விளக்கும் படம்

$$n\lambda' = 2d \sin \theta' \qquad \ldots \quad (1)$$

இதில் λ' என்பது படிகத்திற்குள் எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம், θ' என்பது θவை விடக் குறைவானது எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது. ஒளியியலுக்கு உகந்த சாதாரண விதிகளின்படி (by the ordinary laws of optics)

$$\text{ஒளி விலகல் எண்}, \mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta'} \qquad \ldots \quad (2)$$

படிகத்தின் ஒளிவிலகலெண் எக்ஸ்கதிர்களுக்கு ஒன்றைவிடக் குறைவு. ஆனால், சாதாரண ஒளிக் கதிருக்கு (ordinary light) ஒன்றைவிட அதிகம்.

இரண்டாவது சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி, முதல் சமன்பாட்டைப் பின்வருமாறு எழுதலாம் :

$$\frac{n\lambda}{\mu} = 2d \; (1 - \cos^2 \theta^1)^{\frac{1}{2}}$$

$$n\lambda = \frac{2d\mu}{\mu} (\mu^2 - \cos^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d \, [\, \mu^2 - (1 - \sin^2 \theta)^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d \sin \theta \left[1 - \frac{1 - \mu^2}{\sin^2 \theta} \right]^{\frac{1}{2}}$$

ஒளிவிலகலெண் (μ)-ன் மதிப்பு கிட்டத்தட்ட ஒன்றாகையால் ($\mu \simeq 1$),

$$n\lambda = 2d\sin\theta\left[1 - \frac{2(1-\mu)}{\sin^2\theta}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left[1 - \left(\frac{1}{2}\right)\frac{2(1-\mu)}{\sin^2\theta}\right]$$

$$= 2d\sin\theta\left[1 - \frac{(1-\mu)}{\sin^2\theta}\right]$$

$$n\lambda = 2d\sin\theta\left[1 - \frac{\delta}{\sin^2\theta}\right] \qquad \dots \qquad (3)$$

இதில் δ என்பது $(1\ \mu)$.

இந்த மூன்றாவது சமன்பாடே பிராக்கின் மாற்றப்பட்ட சமன்பாடு.

எக்ஸ்கதிர்களுக்குப் படிகத்தின் ஒளிவிலகலெண் ஒன்றைவிடக் குறைவு என்பதைப் பார்த்தோம். ஆகையால், படிகத்தின் மேற்பரப்பின் வழியாகச் செல்லும் எக்ஸ்கதிர்கள், அடர்மிகு ஊடகத்திலிருந்து (denser medium) அடர்குறை ஊடகத்திற்குள் (rarer medium) செல்லும் சாதாரண ஒளிக்கதிர்களை ஒத்து இருக்கிறது. சாதாரண ஒளிக் கதிர்களைப்போல், எக்ஸ்கதிர்களுக்கும் மாறுதானக் கோணம் (critical angle) உண்டு. எக்ஸ்கதிர்களின் படுகோணம் (angle of incidence) மாறுதானக் கோணத்தைவிட மிகவும் அதிகமானால் எக்ஸ்கதிர்களின் முழு எதிரொளிப்பு (total reflection) ஏற்படுகிறது.

θ_c என்பதை மாறுநிலைத் தொடுகோணமாகக் (critical glancing angle) கொள்வோம்.

$$\mu = \sin i_c = \cos\theta_c$$

$$\mu = 1 - 2\sin^2\frac{\theta_c}{2}$$

θ_c என்ற கோணம் மிகவும் சிறிய கோணமாகையால்,

$\sin^2\frac{\theta_c}{2}$ ஐ $\frac{\theta_c^2}{4}$ என்று எழுதலாம்.

எனவே,

$$\mu = \left(1 - \frac{\theta_c^2}{2}\right)$$

$$2\mu = 2 - \theta_c^2$$

$$\theta_c^2 = 2(1-\mu)$$

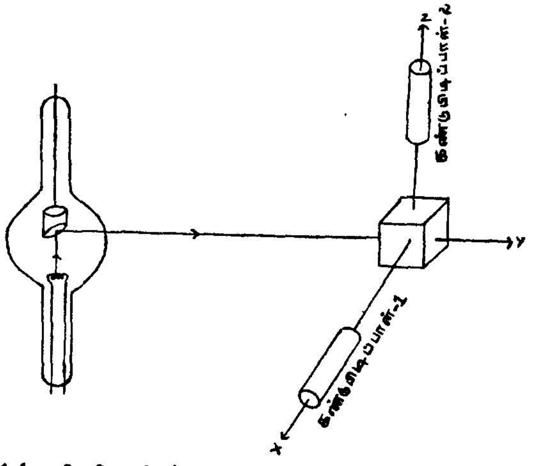
$$\theta_c = \sqrt{2(1-\mu)} = \sqrt{2\delta}$$

இதில் குறிப்பிட்டுள்ள மாறுநிலைத்தொடு கோணமான θ_c (critical angle) என்பது மிகச் சிறிய கோணம்.

எக்ஸ்கதிர்களின் தொடுகோணம் மேற்குறிப்பிட்ட θ_c-க்கும் குறைவானால், பெரும் பகுதியான எக்ஸ்கதிர்கள் எதிரொளிக்கப் படும்.

எக்ஸ்கதிர்களின் தளவிளைவு (Polarisation of X-rays)

எக்ஸ்கதிர்களின் தளவிளைவுத் தன்மையைச் சோதிப்பகற்காகப் பர்கலா (Barkala) என்பவர் கீழ்க்கண்ட ஏற்பாட்டைச் செய்தார். கீழே படம் 14-ல் காட்டியபடி, பருப்பொருள்களால் சிதறியடிக்கப் பட்ட எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு, ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான இரண்டு திசைகளில் அளக்கப்பட்டது.



படம் 14. சிதறியடிக்கப்பட்ட X—கதிர்களின் செறிவை அளத்தல்

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயில் உற்பத்தியாகும் எலக்ட்ரான்கள் முதலில் Z அச்சை நோக்கிச் செல்லுமாறு செய்து, இணையான

திசையிலும் இதற்கு செங்குத்தான திசையிலும் சிதறிச் செல்லும் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவுகள் கண்டுபிடிப்பான்கள் (Detectors) மூலம் அளக்கப்பட்டன. இவை முறையே I_a என்றும் I_b என்றும் குறிப்பிடப்பட்டன. பிறகு எலக்ட்ரான்களை X அச்சை நோக்கிச் செல்லுமாறு செய்து, சிதறிச் செல்லும் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை முன் குறிப்பிட்டதுபோல் இரண்டு செங்குத்தான திசைகளில் அளக்கலாம்.

எக்ஸ்கதிர்களின் தளவளைவை (*P*) கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் விளக்கலாம் :

$$\text{எக்ஸ்கதிர்களின் தளவிளைவு } (P) = \frac{I_b - I_a}{I_b + I_a}$$

A என்ற திசையை நோக்கிச் சிதறிச் செல்லும் எக்ஸ்கதிர்கள் (அதாவது குழாய் அச்சுக்கு இணையான திசையில் சிதறிச் செல்லும் எக்ஸ்கதிர்கள்) மிகவும் அதிகமாக தளவளைவுள்ள எக்ஸ்கதிர்களாக இருப்பதை (maximum polarised), பர்கலா (Barkala) கண்டார். பர்கலாவின் மேற்சொன்ன சோதனையி லிருந்து எக்ஸ்கதிர்களும், மின்காந்த அலைகளின் (Electro magnetic waves) தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன என்பதை எளிதில் உறுதிப் படுத்தலாம்.

6. சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள்

(Characteristic X-Rays)

ஒரு தனிமத்தின் எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலை (The X-ray Spectrum of an element)

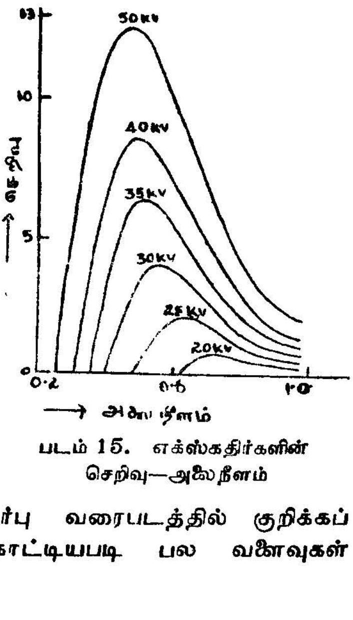
எக்ஸ்கதிர்கள் மின்காந்த அலைகளாகும் (electromagnetic waves). ஆகையால், எக்ஸ்கதிர்களும், மின்காந்த அலைகளின் நிறமாலையின் ஒரு பகுதியாகும். புற ஊதா (ultraviolet), புறச் சிவப்பு (infrared), கட்புலனுக்குத் (visible) தெரியும் ஒளி இவற்றைப்போல் எக்ஸ்கதிர்களும் இருவகையான தன்மைகளைப் (dual nature) பெற்றிருக்கின்றன. அதாவது, எக்ஸ்கதிர்கள் அலைகளாலானதாகவும் (waves), துகள்களால் (particles) ஆனதாகவும் கருதப்படுகின்றன.

எக்ஸ்கதிர்களைப் பொறுத்தமட்டில், இயற்கையில் கிடைக்கும் படிகங்களே (crystals) விளிம்பு விளைவுகீற்றணி (diffraction grating) யாகப் பயன்படுகின்றன. இயற்கையில் கிடைக்கின்ற படிகங்களைக் கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலையைப் பகுத்தறிந்து, அதன்மூலம் எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் கணக்கிடலாம். இயற்கையாகக் கிடக்கும் ராக்சால்ட் (Rock Salt) படிகத்தை விளிம்பு விளைவு கீற்றணியாகப் பயன்படுத்திக் கிடைக்கும் எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலையை, இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்று பொதுவான எக்ஸ்கதிர்வீச்சு (general white radiation), இரண்டாவதைச் சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்கள் (characteristic X-rays) என வழங்குகிறோம்.

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தம் மிகவும் குறைவுள்ளதாக இருந்தால், வெளிவருகின்ற எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலை தொடர்நிறமாலையிருக்கும். மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தத்தைப் படிப்படியாக அதிகரித்தால், ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு மின்அழுத்தத்திற்குமேல் (critical value), வெள்ளைநிறக் கதிர்வீச்சோடு சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களின் கதிர்வீச்சும் வெளிவருகிறது.

தொடர் நிறமாலை (Continuous Spectrum)

டங்ஸ்டனை நேர்மின்வாயாகக் கொண்ட கூலிட்ச் குழாயி லிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்களைப் பயன்படுத்தி மேற்கூறியபடி எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலையைப் பெறுவதாகக் கொள்வோம், எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலையில் ஒவ்வோர் அலைநீளத்திலும் அதனுடைய செறிவை, எதில் ப்ரோமைடால் (Ethyl bromide) நிரப்பப்பட்ட 75 சென்டிமீட்டர் நீளமுள்ள அயனிக்கலத்தால், உல்ரே (Ulrey) என்பவர் கணக்கிட்டார். எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை (*I*) *Y* அச்சிலும், அலைநீளங்களை (wave length) *X* அச்சிலும் குறித்து வரைபடம் ஒன்று வரைபடம் ஒன்று வரையப்பட்டது. இந்த வரைபடம், படம் 15-ல் காட்டியபடி வளைவாக (curve) உள்ளது. கூலிட்ச் குழாயில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும், நேர்மின்வாய்க்கும் எதிர் மின்வாய்க்குமிடையில் செலுத்தப் படும் மின்அழுத்தம் படிப்படியாக உயர்த்தப்பட்டது. ஒவ்வொரு மின் அழுத்தத்திலும் எக்ஸ்கதிர் களின் செறிவு வெவ்வேறு அலை நீளங்களில் அளக்கப்பட்டது. வெவ்வேறு மின்அழுத்தத்தில் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவிற்கும், அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு வரைபடத்தில் குறிக்கப் பட்டது. இதன்மூலம் படத்தில் காட்டியபடி பல வளைவுகள் கிடைக்கின்றன.



படம் 15. எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு—அலைநீளம்

இவ் வரைபடத்தின்மூலம் கீழ்க்கண்ட முடிவுகள் தெரியவரு கின்றன :

(1) எல்லா அலைநீளங்களிலும் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு அதிகமாகிறது.

(2) மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தம் அதிகமாக அதிகமாக, குறைந்த அலைநீளமுள்ள எக்ஸ் கதிர்களே அதிகமான செறிவைப் பெறுகின்றன. அதாவது வளைவுகளின் உச்சி இடது பக்கம் நோக்கி நகர்கின்றன.

(3) மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தம் அதிகமாக அதிகமாக, குறைந்தபட்ச அலைநீளங்கள்

(minimum wave lengths) குறைந்துகொண்டே போகின்றன.

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயில் உற்பத்தியாகும் எலக்ட்ரான்கள் மிகவும் அதிக வேகத்துடன் சென்று நேர்மின்வாயின் அணுக்களோடு மோதுகின்றன. அதிக வேகத்துடன் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் தங்களுடைய இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) முழுவதையும் நேர்மின்வாயின் அணுக்களோடு மோதும்பொழுது அவற்றிற்குக் கொடுத்து வருகின்றன. இதன் விளைவாக வெளி வரும் எக்ஸ்கதிர்களின் அதிர்வெண் (Freuqency) பின்வருமாறு இருக்கும்.

$$eV = h\nu \qquad \dots \quad (1)$$

$$\nu = \frac{eV}{h} \qquad \dots \quad (2)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் e என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் (charge of the electron) ; V என்பது எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தம்; h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி (Planck's constant); ν என்பது குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் அதிர்வெண், குழா யிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின அலைநீளம் பின்வருமாறு இருக்கும் :

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{hc}{eV} \qquad \dots \quad (3)$$

இதில் c என்பது ஒளியின் திசைவேகம் (Velocity of light), மேற்கண்ட மூன்றாவது சமன்பாட்டில் எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தையும், மின்அழுத்தத்தையும் நிலைமின் அலகில் (electrostatic unit) குறிப்பிட்டால், அலைநீளம் (λ) சென்டிமீட்டரில் கிடைக்கும், மாறாக எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டத்தை மின்காந்த அலகிலும் (electromagnetic unit), மின்அழுத்தத்தை வோல்ட் என்ற அலகிலும் குறிப்பிட்டால் எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் ஆங்ஸ்ட்ராங் என்ற அலகில் கிடைக்கும்.

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப் படும் மின்அழுத்தம் 1,50,000 வோல்ட் எனக் கொள்வோம். 1,50,000 வோல்ட்மின் அழுத்தம் என்பது 500 நிலைமின் அலகுக்குச் சமம். மேற்கண்ட மின்அழுத்தத்தில் எக்ஸ்கதிர்க் குழாய் வேலைசெய்யும்பொழுது அதிலிருந்து உற்பத்தியாகும்

எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் $(\lambda) = \frac{hc}{Ve}$

இந்தச் சமன்பாட்டில் $h = 6{\cdot}624 \times 10^{-27}$

$c = 2{\cdot}988 \times 10^{-10}$ சென்டிமீட்டர்/செகண்ட்

$e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ நிலைமின் அலகு

எனவே,

$$\lambda = \frac{6{\cdot}624 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{V \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10}} = \frac{12400}{V}$$

மின்அழுத்தம் 1,50,000 வோல்ட் இருக்கும்போது அலைநீளம் $\lambda = \frac{12400}{150000} = 0{\cdot}083$ A° அதாவது 1,50,000 வோல்ட் மின்அழுத்தத்தில் எக்ஸ்கதிர்க்குழாய் வேலை செய்யும்போது, இக் குழாயிலிருந் வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் குறைந்த அலை நீளம் (minimum wave length) 0·083 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகாகும். இதைத்தான் குறைந்த அலைநீளத்தின் வரம்பு (short wave length limit) அல்லது 'டுவேன் ஹண்ட் வரம்பு' (Duane-Hunt limit) என வழங்கப்படுகிறது. உண்மையில் எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் அலை நீளங்கள் மேற்சொன்ன வரம்பைக் காட்டிலும் அதிகமுள்ளதாகவே காணப்படுகின்றன. ஏனென்றால், குழாயில் அதிக வேகத்துடன் செல்லும் எலக்ட்ரான்கள் தங்களுடைய இயக்க ஆற்றல் முழு வதையும், நேர்மின்வாயின் அணுக்களுக்கு முதல்தடவை மோதும் பொழுதே கொடுப்பதில்லை. மாறாக, முதல்தடவை மோதும் பொழுது சிறிது ஆற்றலையும், பிறகு இரண்டாவது தடவை மோதும்பொழுது சிறிது ஆற்றலையுமாகக் கொஞ்சம் கொஞ்ச மாக அணுக்களுக்குக் கொடுக்கின்றன. ஆகையால், ஒவ்வொரு தடவை மோதும்பொழுதும் கொடுக்கும் இயக்க ஆற்றல், அதிக அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களாக மாற்றப் பட்டுக் குழாயிலிருந்து வெளிவருகின்றன.

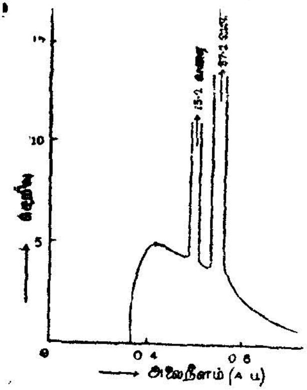
லாவோவின் முறைப்படி (Laue's method), படிகத்தைப் பகுத்தாய்வதற்கு மேற்குறிப்பிட்டபடி குறைந்த மின்அழுத் தத்தின்மூலம் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்ற எக்ஸ்கதிர் வீச்சு (General white radiation) பயன்படுத்தப்படுகிறது. ரேடியோ

கிராபியிலும் (Radiography) இக் கதிர்வீச்சையே பயன்படுத்துகிறார்கள்.

சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலை (Characteristic X-ray Spectrum)

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்க்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தத்தை மிகவும் அதிகமாக்கி வெளிவரும் எக்ஸ் கதிர்கள் கடும் எக்ஸ்கதிர்களாயிருப்பின் (hard X-rays), இதனால் உண்டாகும் நிறமாலை தொடர் நிறமாலையாக இருப்பதோடு மட்டுமல்லாமல் சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களின் கதிர் வீச்சாகவும் அமைகிறது உண்மையில் சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்களின் கதிர்வீச்சு வெள்ளை நிறக் கதிர்வீச்சின்மேல்பொருந்தி (superposed) அமைகிறது. உல்ரே என்பவர் எக்ஸ்கதிர்க் குழாயில் டங்ஸ்டனுக்குப் பதிலாக மாலிப்டினத்தை நேர்மின் வாயாகப் பயன்படுத்தி உற்பத்தியான எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலையில், ஒவ்வோர் அலைநீளத்திலும் எக்ஸ் கதிர்களின் செறிவை அயனிக் கலம்கொண்டு அளந்தார். பின் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவிற்கும், அலைநீளத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை ஒரு வரைபடத்தின்மூலம் விளக்கினார்.

படம் 16 வரைபடத்தில் 0·63 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுள்ள அலைநீளம், 0·71 ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகுள்ள அலைநீளம் ஆகிய இவ் விரண்டு அலைநீளங்களில் உண்டாகிற குறுகிய கூர்மையான முனைப் பகுதியைத் (Peak portion) தவிர, மற்றப் பகுதி அனைத்தும் வரைபடம் 15ஐ ஒத்து இருக்கிறது. வரைபடம் 15 டங்ஸ்டனை நேர்மின் வாயாகக் கொண்டு வரையப்பட்டிருக்கிறது. இந்த வரைபடம் (படம் 16) மாலிப்டினத்தை நேர்மின்வாயாகக் கொண்டு வரையப்பட்டிருக்கிறது. இவ் வரைபடத்தில் உள்ள இரண்டு கூரிய முனைப்பகுதிகள், டங்ஸ்டனை நேர் மின்வாயாகக் கொண்டு வரைந்த வரைபடத்தில் இல்லை. இதிலிருந்து, இந்த இரண்டு கூரிய முனைப் பகுதிகளுக்கும், நேர்மின் வாயாகப் பயன்படுத்தப்பட்ட மாலிப்டினத்திற்கும் ஏதோ ஒற்றுமை இருப்பதுபோல் தோன்றுகிறது. இதே கூரிய முனைப் பகுதிகளை டங்ஸ்டனை நேர்மின் வாயாகக் கொண்டு வரைந்த



படம் 16. எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவு—அலைநீளம்

வரைபடத்திலும் பெறலாம். அதாவது டங்ஸ்டனை நேர்மின் வாயாகக் கொண்டுள்ள எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக் கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தத்தை ஏறக்குறைய 70 கிலோவால்ட் அளவுக்கு அதிகப்படுத்தினால், 0·81, 0·21 ஆங்ஸ்டிராங் அலகு அலைநீளங்களில் கூரிய முனைப் பகுதிகள் உண்டாகின்றன. இதேபோல் மாலிப்டினத்தை நேர்மின்வாயாகக் கொண்டுள்ள எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தம் 20 கிலோ வாட்டுக்கும் குறைவாக இருந்தால், இரண்டு கூர்மையான முனைப் பகுதிகளும் மறைந்து விடுகின்றன. இரண்டு கூர்மையான முனைப்பகுதிகளும், சூடான சோடியம் ஆவி (sodium vapour) அல்லது பாதரச ஆவி (mercury vapour) ஆகிய இவற்றால் உண்டாகும் ஒளியியல் நிறமாலையில் (optical spectra) காணும் பொலிவான வரியை (bright line) ஒத்து இருக்கின்றன. இந்த இரண்டு கூர்மையான முனைப்பகுதிகளும், அலைநீளம் அதிகமுள்ள மற்ற சில சிறப்புக் கோடுகளுடைய கோவைகளும் (characteristics lines) பர்கலா என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அலைநீளம் அதிகமுள்ள சிறப்புக் கோடுகளுடைய கோவைகள் *L* (*L*-Series) எனவும் (படத்தில் காட்டப்படவில்லை), படத்தில் காட்டியபடி குறைந்த அலைநீளமுள்ள கூர்மையான முனைப்பகுதிகள் *K* வரிசைகள் (*K*-series) எனவும் பர்கலாவால் வழங்கப்பட்டன.

எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு விளைவுத் தன்மை (X-ray diffraction) கண்டு பிடிக்கப்பட்டதற்கு முன்பே, பர்கலா மேற்சொன்ன *K* வரிசைகள் *L* வரிசைகளைக் கண்டுபிடித்தார்.

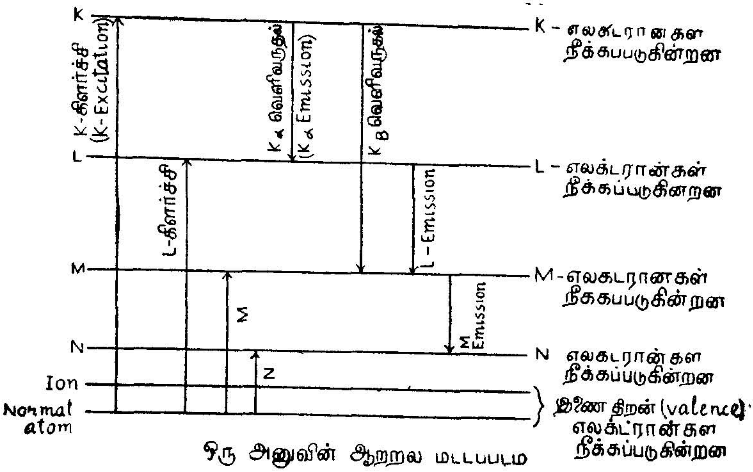
1912-ல் எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு விளைவுத் தன்மையைக் கண்டுபிடித்த பிறகு, எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமானியைக் (X-ray Spectrometer) கொண்டு மோஸ்லே (Moseley) என்பவர் மேற்சொன்ன வரிசைகளைக் கொண்ட நிறமாலையை பகுத்தாய்ந்தார். இதன் விளைவாக, எக்ஸ்கதிர்களின் அதிர்வெண்ணிற்கும் (frequency), எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருக்கும் குறியின் (target) அணு எண்ணிற்கும் தொடர்பாக ஒரு சமன்பாட்டைக் கண்டுபிடித்தார். இந்தச் சமன்பாடு கீழே தரப்பட்டுள்ளது :

$$v^{\frac{1}{2}} = K_1 (z - b)$$

இதில் v எக்ஸ்கதிர்களின் அதிர்வெண் K_1-ம், b-ம் மாறிலிகள் (constants). z-அணுஎண் (Atomic number).

K_1, b ஆகிய இவ்விரண்டு மாறிலிகளின் மதிப்பை மாற்றி, மேற்கொண்ட சமன்பாட்டை L, M, N வரிசைகளுக்கும் பொருந்துமாறு செய்யுலாம். K கோவைகளில் உள்ள அதிக அலைநீளமுள்ள (0·71 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகுள்ள) கூர்மையான முனைப்பகுதிக்கு K_α எனவும், குறைந்த அலைநீளமுள்ள (0·63 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகுள்ள) முனைப்பகுதிக்கு (peaks) K_β எனவும் மோஸ்லே பெயரிட்டார். இதைப்போலவே L வரிசைகளில் உள்ள முனைப் பகுதிகளுக்கு L_α, L_β என்று பெயரிட்டார்.

மேற்சொன்ன K_α, K_α, L_β, L_β என்ற சிறப்புக் கதிர்விச்சு எவ்விதம் உண்டாகிறது என்பதைக் கீழே பார்ப்போம். டங்ஸ்டனை நேர்மின் வாயாகக் கொண்டுள்ள எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செயல்படும மின்அழுத்தம் 70 கிலோ வோல்ட்டாக இருந்தால்தான் K_α K_β என்ற நிறவரிமாலைகள் line spectra) வெளிப்படுகின்றன. அதேபோல், மாலிப்டினத்தை நேர்மின்வாயாகக் கொண்டுள்ள குழாயின் மின்வாய்களுக் கிடையில் செலுத்தப்படும் மின்அழுத்தம் 20கிலோ வோல்ட்டாக இருந்தால்தான் மேற்சொன்ன நிறவரிமாலைகள் வெளிப்படும் என



படம் 17. ஓர் அணுவின் ஆற்றல் மட்டப் படம்

முற்பகுதியில் பார்த்தோம். இந்தக் குறைந்த அளவு மின்அழுத்தத்தினால் குழாயில் உற்பத்தியாகும் எலக்ட்ரான்கள் அணுவின் K கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான்களை வெளித் தள்ளுவதற்குப் போதுமான ஆற்றலைப் பெறுகின்றன. இதனால் அணுக்களில் உள்ள K கூடுகள் கிளர்ச்சி நிலையில் (excited state) இருக்கின்றன.

K கூடுகள் கிளர்ச்சியானதற்குப் பிறகு, K கூட்டிற்கும் வெளியே யுள்ள கூடுகளிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் K கூட்டிற்குத் தாவு கின்றன. இவ்வாறு தாவுதலைச் செய்வதுடன், சிறப்பு எக்ஸ் கதிர்களையும் வெளிவிடுகின்றன. L என்ற கூட்டிலுள்ள எலக்ட் ரான், K என்ற கூட்டிற்குத் தாவும்போழுது உடன் வெளிப்படும் சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்வீச்சே K_α என அழைக்கப்படுகிறது. இதுபோல் M என்ற கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் K என்ற கூட்டிற்குத் தாவும்பொழுது உடன் வெளிவரும் சிறப்பு எக்ஸ்கதிர் வீச்சே K_β என வழங்கப்படுகிறது. படம் 17 இவற்றை நன்கு விளக்குகின்றது.

எக்ஸ்கதிர் உட்கவர் நிறமாலை (X-ray absorption Spectra)

எக்ஸ்கதிர்போட்டான்களை ஓர் அணு உட்கவர்ந்தால், அந்த அணுகிளர் நிலையில் (excited state) இருப்பதாகச் சொல்லப்படு கிறது. இவ்வாறு உட்கவர்ந்த எக்ஸ்கதிர் போட்டான்களின ஆற்றல் குறிப்பிட்ட அளவிற்குமேல் அதிகமானல் அந்த அணுவின் கூடுகளில் (shells) ஏதேனும், ஒன்றிலுள்ள எலக்ட்ரரன் வெளித் தள்ளப்படுகிறது. அப்பொழுது சிறப்பு எக்ஸ்கதிர்வீச்சை வெளிவிடுகிறது.

ஒளியியல் நிறமாலைக்கும் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலைக்கும் உள்ள வேறுபாடுகள் (Difference between optical spectra and X-ray spectra)

(1) அணுவின் உட்கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான் இடம் பெயர் வதினுல் (transition) உண்டாவது எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை. மாருக அணுவின் வெளிக் கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான் இடம் பெயர்வதால் உண்டாவது ஒளி யியல் நிறமாலை.

(2) எக்ஸ்கதிர்வீச்சு அதிக அதிர்வெண் (frequency) உடையதாக இருக்கிறது. ஒளியியல் கதிர்வீச்சு (optical radiation) குறைந்த அதிர்வெண் உடைய தாக இருக்கிறது.

(3) புற ஊதாவிற்கு அப்புறம் குறுகிய ஒரு பகுதியில் (narrow region) எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை அமைகிறது. ஒளியியல் நிறமாலை புறச் சிவப்புக்கு உட்புறம் அகல மான (wide range) பகுதியில் அமைகிறது.

(4) அலைநீளம் அதிகமுள்ள பகுதி, அலைநீளம் குறைவுள்ள பகுதி என இருபகுதிகளாக எக்ஸ்கதிர் நிறமாலைப் பகுதி பிரிக்கப்படுகிறது.

(5) எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை ஒளியியல் நிறமாலைபோல் அல்லாமல் சில வரிக் கோடுகளையே (lines) பெற்றிருக்கிறது.

(6) எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை தனிமத்தின் இரசாயனச் சேர்க்கையைப் பொறுத்ததல்ல.

மோஸ்லேயின் விதி (Mosley's law)

இவ் விதி எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெளிவரும் எக்ஸ்கதிர்களின் அதிர்வெண்ணிற்கும், குழாயிலுள்ள நேர்மின்வாயின் அணு எண்ணிற்கும் (atomic number) உள்ள தொடர்பைக் காட்டுகிறது என முன்பு பார்த்தோம்.
அதன்படி,

$$v = K_1 (z - \sigma)^2$$

இதில் $(z \sigma)$ என்பது நேர்மின்வாயின் செயலுறு அணு எண் (Effective atomic number); K_1 என்பது ஒரு மாறிலி. σ என்பது மற்றொரு மாறிலி. இதற்குப் பெயர் திரை மாறிலி (screening constant.

போரின் கொள்கைப்படி (Bohri's theory) n_1 என்ற முதன்மைக் குவான்டம் எண்ணை (Principal quantum number) உடைய சுற்றுப்பாதையில் (orbit) சுற்றிவரும் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் (E_1) கீழ்வருமாறு கணக்கிடப் படுகிறது :

$$E_1 = -\frac{2\pi^2 m e^4 z^2}{n_1^2 h^2} \quad \ldots \quad (1)$$

இதில் e என்பது எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம், z என்பது அணு எண், n_1 என்பது முதன்மைக் குவான்டம் எண், h என்பது பிளாங்கின் மாறிலி, m என்பது எலக்ட்ரானின் நிறை n_2 என்ற முதன்மைக் குவான்டம் எண்ணை உடைய சுற்றுப்பாதையில் சுற்றிவரும் எலக்ட்ரானின் ஆற்றல்.

$$E_2 = -\frac{2\pi^2 m e^4 z^2}{n_2^2 h_2} \quad \ldots \quad (2)$$

எலக்ட்ரான்கள் சுற்றுப் பாதையில் சுற்றி வருவதால், அணுக் கருவின் நேர்மின்னூட்டத்தைத் (Positive charge) திரையிடுவதால் அணுஎண்ணின் மதிப்பு Z-லிருந்து $(z-\sigma)$ என்ற மதிப்பிற்குக் குறைகிறது. இப்பொழுது மேற்கண்ட (1), (2) என்ற இரு சமன்பாடுகளையும் மாற்றிக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$E_1 = -\frac{2\pi^2 m e^4 (Z-\sigma_1)^2}{n_1^2 h^2}$$

$$E_2 = -\frac{2\pi m e^4 (z-\sigma_2)^2}{n_2^2 h^2}$$

$$E_1 - E_2 = \frac{2\pi^2 m e^4}{h_2}\left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{(Z-\sigma_1)^2}{(Z-\sigma_2)^2}\frac{1}{n_1^2}\right]$$

$$= \frac{2\pi^2 m e^4}{h^2}(z-\sigma_2)^2 \left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{(z-\sigma_1)^2}{(z-\sigma_2)^2}\frac{1}{n_1^2}\right]$$

z-ன் மதிப்பு அதிகமாகும்பொழுது

$$\sigma_1 \simeq \sigma_2 \simeq \sigma$$

எனவே,

$$h v = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}(z-\sigma)^2\left[\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2}\right]$$

$n_1 = 2, n_2 = 1$ ஆக இருக்கும்பொழுது k_α என்ற நிறவரிமாலை வெளி வருகிறது.

$$v_{k\alpha} = \frac{2\pi^2 me^4}{h^3}(z-\sigma k_\alpha)^2\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right]$$

$$v_{k\alpha} \propto (z-\sigma k_\alpha)^2$$

அல்லது

$$v_{K\alpha} \propto (z-\sigma)^2$$

$$v_\alpha = a(z-\sigma)^2$$

இதுவே மோஸ்லேயின் சமன்பாடு. இதில் $a = \frac{\pi Z^4 me^2}{h^3}$

K_α என்ற வரிநிறமாலைக்கு, மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலுள்ள σ-யின் மதிப்பு 1·13. a-யின் மதிப்பு ஏறக்குறைய 25×10^{14} ஆகும்

மோஸ்லே விதியின் பயன் முறைகள் (Application of Moseleys law)

தனிமவரிச அட்டவணையில் (Periodic table) மூலகங்கள் இருப்பிடத்தை அவற்றின் அணு எடையைக் கொண்டல்லாமல் அணு எண்ணைக் கொண்டுதான் உறுதிப்படுத்த வேண்டும் என்பதை மோஸ்லேயின் ஆராய்ச்சிகள் காட்டின. ஆகையால், மோஸ்லேயின் விதி, தனிமவரிச அட்டவணையில் வெவ்வேறு மூலகங்களை வரிசைப் படுத்துவதில் இருந்த முரண்பாட்டை நீக்கின.

மோஸ்லே விதியின் உதவியைக் கொண்டு, அரு மண் மூலகங்களுடைய (rare earth elements) எக்ஸ்கதிர்களின் நிறமாலை மூலம் அவற்றின் அணுஎண் நிச்சயிக்கப்பட்டன.

புதிதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஹாப்னியம் (Hafnium), ப்ரோமீதியம் (Promethium), ரீனியம் (Rhenium), டெக்னீஷியம் (Technetium) போன்ற தனிமங்களைத் தனிமவரிச அட்டவணையில் மோஸ்லே விதிப்படி எளிதாகச் சேர்க்க முடிந்தது.

சிறப்பு எக்ஸ் கதிர் நிறமாலையின் சில புதுமைகள் (Some peculiar characteristic of X-ray spectra)

(1) நுண்வரி அமைப்பு (Fine structure)

மோஸ்லே பயன்படுத்திய ஆய்கருவியைக் (apparatus) காட்டிலும் மிகச் சிறந்த ஆய்கருவியைக் கொண்டு. அவருக்குப் பின் செய்த ஆராய்ச்சிகளின் பயனாக எக்ஸ்கதிர் நிறமாலையைப் பற்றிக் கீழ்க்கண்ட உண்மைகள் தெரியவந்தன.

K, L என்ற கோவைகளைத் தவிர, M, N, O என்ற மற்ற மூன்று கோவைகளும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவற்றில் K வரிசைகள் மட்டும் தனியானவை. L வரிசைகள் மூன்று உட்பிரிவுகளைப் பெற்றிருக்கின்றன M வரிசைகள் ஐந்து உட்பிரிவுகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. N கோவைகள் ஏழு உட்பிரிவுகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. K வரிசை நான்கு வரிக் கோடுகளைப் (four lines) பெற்றிருக்கின்றன. இவை K_{α_1}, K_{α_2}, K_{β_1}, K_{β_2} என்ற அடையாளங்களால் குறிக்கப்படுகின்றன. L வரிசைகள் முப்பதுக்கும் அதிகமான வரிக்கோடுகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. இவற்றை L_{α_1} L_{α_2}, L_{β}, L_{β_2}... என வழங்குகிறோம். மேற்சொன்ன வரிக் கோடுகளை எக்ஸ்கதிர்களின் நுண் வரி அமைப்பு (fine structure of X-rays spectra) என வழங்குகிறோம்.

(2) ஆகரின் விளைவு (Augur effects)

எக்ஸ்கதிர்கள் அணுவைத் தாக்கும்பொழுது, அணுவின் K கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் வெளித்தள்ளப்படுகிறது எனப் பார்த்தோம். இந்த இடத்தை நிரப்ப அணுவின் L கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரான் K கூட்டிற்குத் தாவும். இவ்வாறு தாவும்பொழுது K_β என்ற கதிர்வீச்சை வெளிவிடும். K என்ற கூட்டிலிருந்து வெளிவந்த எலக்ட்ரானுக்கு ஒளி எலக்ட்ரான் (Photo electron) எனப் பெயர்.

ஆகர் (Augur) என்பவர் 1925-ல் ஆர்கான் என்ற அணுவிலிருந்து வெளிவந்த ஒளி எலக்ட்ரானைப்பற்றி, முகிற்கலம் (cloud chamber) கொண்டு ஆராய்ச்சி செய்தார். அதில் K எலக்ட்ரானின் சுவடுடன் (track) மற்றோர் எலக்ட்ரானின் சிறிய சுவடும் தெரியவந்தது. இந்த எலக்ட்ரானின் ஆற்றல் K என்ற ஒளி எலக்ட்ரானின் ஆற்றலைவிடக் குறைவானதால், அதனுடைய சுவடு சிறியதாக இருந்தது. இரண்டு சுவடுகளும் ஒரே இடத்திலிருந்து தோன்றின. இவற்றைப்பற்றிய ஆகரின் விளக்கம் பின்வருமாறு :

எக்ஸ்கதிர்கள் அணுவின் K கூட்டிலுள்ள எலக்ட்ரானை வெளித் தள்ளிய பிறகு, அந்த இடத்தை நிரப்ப L கூட்டிலுள்ள ஒலக்ட்ரான் K கூட்டிற்குத் தாவும் எனப் பார்த்தோம். அப்பொழுது K_α என்ற கதிர்வீச்சு வெளியே போவதற்குப் பதிலாக, L கூட்டிலுள்ள மற்றோர் எலக்ட்ரானை வெளித் தள்ளுவதற்கு இக் கதிர்வீச்சின் ஆற்றல் பயன்படுகிறது. ஆகையால், K_α என்ற கதிர்வீச்சு வெளிவருவதில்லை. இவ்வாறுன கதிர்வீச்சு இல்லாத மாற்றத்திற்கு (Radiationless) ஆகரின் விளைவு என்று பெயர். சிறிய சுவட்டை உண்டாக்கிய எலக்ட்ரானுக்கு ஆகர் எலக்ட்ரான் எனப் பெயர்.

காம்ப்டன் விளைவு (Compton effect)

முதன்மை எக்ஸ்கதிர்கள் உலோகத் தகட்டைத் தாக்கும்பொழுது உலோகத் தகட்டால் சிதறயடிக்கப்படுகின்றன எனப் பார்த்தோம். இவ்வாறு சிதறிய எக்ஸ்கதிர்கள் இருவகையான அலைநீளங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. முதல்வகை, முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தையே பெற்றிருக்கின்றன. இரண்டாம் வகை எக்ஸ்கதிர்கள், முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தைக் காட்டிலும் சற்று அதிகமான அலைநீளத்தைப் பெற்றிருக்கின்றன. இந்த இரண்டாம் வகை எக்ஸ்கதிர்களுக்கு 'மாறியல் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்கள்' அல்லது காம்ப்டன் சிதறல்

எக்ஸ்கதிர்கள் எனப் பெயர். காம்ப்டன் சிதறல் எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்திற்கும், முதன்மை எக்ஸகதிர்களின் அலைநீளத்திற்கும், முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்திற்கும் உள்ள வேறுபாட்டை $d\lambda$ எனக் கொண்டால்,

$$d\lambda = \frac{h}{mc}\,(1 - \cos\theta)$$

என முற்பகுதியில் பார்த்தோம். $d\lambda$ எவ்வாறு கணக்கிடப்படுகிறது என்பதைக் கீழ்ப் பார்ப்போம். உலோகத் தகட்டைத் தாக்கும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர்களின் ஆற்றல், $E = h\nu$ எனக் கொள்வோம்.

இதில் h என்பது பிளாங்கின் மாதிரி, ν என்பது எக்ஸ் கதிர்களின் அதிர்வெண். ஐன்ஸ்டீனின் விதிப்படி எக்ஸ் கதிர்களின் ஆற்றல், $E = mc^2$ என்பதாகும். இதில் m என்பது எக்ஸ் கதிர் போட்டானின் நிறை, c என்பது ஒளியின் திசைவேகம். ஒரு பொருளின் உந்தம் (momentum) என்பது அப் பொருளின் நிறை, திசைவேகம் ஆகிய இவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம்.

எனவே,

எக்ஸ்கதிர் போட்டானின் உந்தம், $m\,c = \dfrac{h\nu}{c}$ யாகும்.

உலோகத் தகட்டில் எலக்ட்ரான்கள் நிலையாயிருக்கின்றன. ஓர் எக்ஸ்கதிர்கள் போட்டான் உலோகத்தகட்டைத் தாக்கும்பொழுது, போட்டானின் இயக்க ஆற்றலில் சிறிதளவு எலக்ட்ரான்களுக்குக் கொடுக்கப்படுகின்றன. பிறகு உலோகத் தகட்டை நோக்கி வந்த திசையினும் மாறுபட்டு, வேறு திசை நோக்கி எக்ஸ்கதிர் போட்டான் சிதறிச்செல்கிறது. உலோகத்தகட்டில் நிலையாயிருந்த ஓர் எலக்ட்ரான், எக்ஸ்கதிர் போட்டானின் ஆற்றலில் சிறிதளவு பெற்றதால், அது வேறு திசை நோக்கி நகர்கிறது. இவ்வாறு நகர்கின்ற எலக்ட்ரானின் திசை வேகத்திற்கு, பின் உதைப்பு திசைவேகம் (Velocity of recoil of electrons) எனப் பெயர்.

உலோகத் தகட்டிலிருந்து சிதறிச் செல்கிற போட்டானின் ஆற்றல் $h\nu'$ ஆகவும், அதனுடைய உந்தம் (momentum) $\dfrac{h\nu'}{c}$ யாகவும் இருக்கட்டும். முதன்மை எக்ஸ்கதிர் போட்டானின் ஆற்றல் $h\nu$ ஆகவும், அதனுடைய உந்தம் $\dfrac{h\nu}{c}$ யாகவும் இருக்கட்டும்.

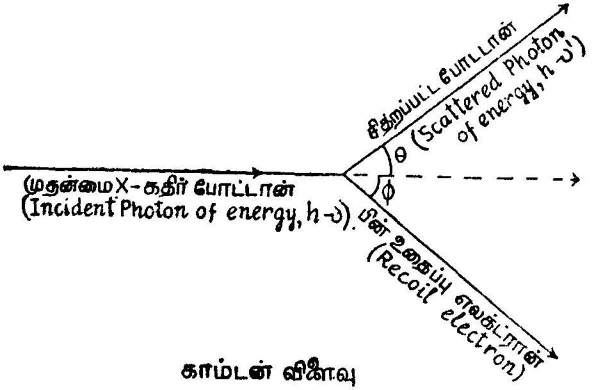
எக்ஸ்கதிர் போட்டான் உலோகத்தகட்டைத் தாக்குவதற்குமுன், உலோகத்தகட்டில் உள்ள எலக்ட்ரான் நிலையாயிருப்பதால் அதனுடைய ஆற்றல். ஐன்ஸ்டீனின் சார்பியல் கொள்கைப்படி (Einstein's Theory of Relativity) m_0c^2. இதில் m_0 என்பது எலக்ட்ரான் நிலையாயிருக்கும் பொழுது அதனுடைய நிறை. எலக்ட்ரான் நிலையாயிருக்கும்போது அதன் உந்தம் = 0.

எக்ஸ்கதிர் போட்டான் உலோகத்தகட்டிலுள்ள எலக்ட்ரானுடன் மோதிய பிறகு, எலக்ட்ரானின் பின் உதைப்புத் திசைவேகம் v ஆக இருக்கட்டும். அப்பொழுது அதனுடைய நிறை, நிறை சார்பியல் கொள்கைப்படி

$$m = \frac{m_0}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

பின் உதைப்புத் திசைவேகம் v என்று கொண்ட எலக்ட்ரானின் ஆற்றல்

$$m c^2 = \frac{m_0 c^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$



காம்டன் விளைவு

படம் 18

பின் உதைப்பு எலக்ட்ரானின் உந்தம் $= m v = \frac{m_0 v}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$

முதன்மை எக்ஸ்கதிர் போட்டானின் திசைக்கும், சிதறப்பட்ட போட்டானின் திசைக்கும் இடையிலுள்ள கோணம் θ வாக இருக்கட்டும். முதன்மை எக்ஸ்கதிர் போட்டானின் திசைக்கும், பின் உதைப்பு எலக்ட்ரான் செல்லும் திசைக்கும் இடையிலுள்ள கோணம் ϕ என்று குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது.

ஆற்றல், உந்தம் ஆகியவற்றின் அழிவின்மை கொள்கைப் படி (principles of conservation of energy and momentum) கீழ்க் கண்ட சமன்பாடுகளை எழுதலாம்:

$$h v + m_0 c^2 = h v' + m c^2 \quad \ldots \quad (1)$$

$$\frac{h v}{c} + 0 = \frac{h v'}{c} \cos \theta + m \mathrm{v} \cos \phi \quad \ldots \quad (2)$$

இரண்டாவது சமன்பாட்டில் எலக்ட்ரான், போட்டான் இவையே உந்தங்கள் முன்னேக்குத் திசையில் (Forward direction) கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

எலக்ட்ரான், போட்டான் இவையே உந்தங்களைச் செங்குத்தான திசையில் (Perpendicular direction) கணக்கிட்டுக் கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டை எழுதலாம்.

$$0 = \frac{h v'}{c} \sin \theta - m \mathrm{v} \sin \phi \quad \ldots \quad (3)$$

$$m \mathrm{v} \sin \phi = \frac{h v'}{c} \sin \theta \quad \ldots \quad (4)$$

$$m \mathrm{v} \cos \phi = \frac{h v}{c} - \frac{h v'}{c} \cos \theta \quad \ldots \quad (5)$$

(இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து)

அதாவது

$$m \mathrm{v} c \sin \phi = h v' \sin \theta \quad \ldots \quad (6)$$

$$m \mathrm{v} c \cos \phi = h v - h v' \cos \theta \quad \ldots \quad (7)$$

மேற்குறிப்பிட்ட இரண்டு சமன்பாடுகளின் வர்க்கங்களைக் கண்டு பிடித்து, அவற்றைக் கூட்டினல்

$$m^2 \mathrm{v}^2 c^2 = h^2 v'^2 \sin^2\theta + h^2 v^2 + h^2 v'^2 \cos^2 \theta - 2 h^2 \mathrm{v}\, \mathrm{v}' \cos \theta$$

$$m^2 \mathrm{v}^2 c'^2 = h^2 v^2 + 2 h^2 v^2 - 2 h v v' \cos \theta \ldots \quad (8)$$

ஒன்ருவது சமன்பாட்டைக் கீழ்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$m\,c^2 = m_o\,c^2 + h\,(v - v')$$

இந்தச் சமன்பாட்டை வர்க்கமாக்கிஞல்,

$$m^2\,c^4 = m_o\,c^4 + 2\,h\,m_o\,c^2\,(v - v') + h^2\,(v - v')^2$$

$$m^2\,c^4 = m_o^2\,c^4 + 2\,h\,m_o\,c^2\,v' + 2\,h\,m_o\,c^2\,v' + h^2\,v^2 + h^2\,v'^2 - 2\,h\,v\,v' \quad \ldots \quad (9)$$

ஒன்பதாவது சமன்பாட்டிலிருந்து. எட்டாவது சமன்பாட்டைக் கழித்தால் கிடைப்பது :

$$m^2\,c^2\,(c^2 - \mathrm{v}^2) = m_o^2\,c^4 + 2\,m_o\,c^2\,h\,(v - v') + 2\,h^2\,v\,v'\,(\cos\theta - 1) \quad \ldots \quad (10)$$

இந்தச் சமன் பாட்டில்,

$$m^2\,c^2\,(c^2 - \mathrm{v}^2) = \frac{m_o^2}{\left(1 - \frac{\mathrm{v}^2}{c^2}\right)}\,c^2\,(c^2 - \mathrm{v}^2) = m_o^2\,c^4$$

எனவே, பத்தாவது சமன்பாட்டைக் கீழ்கண்டவாறு மாற்றி எழுதலாம்:

$$m_o^2\,c^4 = m_o^2\,c^4 + 2\,m_o\,c^2\,h\,(v - v') + 2\,h^2\,v\,v'\,(\cos - 1)$$

அதாவது,

$$2\,h^2\,v\,v'\,(1 - \cos\theta) = 2\,m_o\,c^2\,h\,(v - v') \quad \ldots \quad (12)$$

$$2\,h^2\,v\,v'\left(2\sin^2\frac{\theta}{2}\right) = 2\,m_o\,c^2\,h\,(v - v')$$

$$2h\sin^2\frac{\theta}{2} = m_o\,c^2\,\frac{(v - v')}{v\,v'} \quad \ldots \quad (13)$$

$$\frac{2\,h\sin^2\frac{\theta}{2}}{m_o\,c^2} = \frac{(v - v')}{v\,v'} = \frac{1}{v'} - \frac{1}{v} \quad \ldots \quad (14)$$

$$\frac{1}{v^1} = \frac{1}{v} + \frac{2h}{m_o\,c^2}\,\sin^2\frac{\theta}{2} \quad \ldots \quad (15)$$

261699 C5,3
(13)31L8

$c = \nu\lambda$ என்ற சமன்பாட்டைக்கொண்டு, மேற்சொன்ன சமன்பாட்டை அலை நீளத்தில் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம் :

$$\frac{'\lambda}{c} = \frac{\lambda}{c} + \frac{2h}{m_o c^2} \sin^2 \frac{\theta}{2} \qquad \cdots \qquad (16)$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_o c} \sin^2 \frac{\theta}{2} \qquad \cdots \qquad (17)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் λ' என்ற அலைநீளம், λ என்ற அலை நீளத்தைவிட அதிகம். $(\lambda' - \lambda)$ என்பதை $d\lambda$ என்று பொதுவாக குறிப்பிடுகிறோம்.

$$d\lambda = \frac{2h}{m^{o} c} 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$d\lambda = \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\theta)$$

அட்டவணை 1

சில உலோகங்களின் படிக இயலமைப்பும் சில எக்ஸ்கதிர்களும்
(Crystal structure and X-ray data of some selected metals)

உலோகங்கள் (Metals)	படிக இயலமைப்பு (Crystal structure)	அணிக்கோவை மாறிலி (Lattice constant)	K_α சிறப்பு எக்ஸ் கதிரின் அலைநீளம் (K_α Characteristic X-ray wave-length)	$\frac{\mu}{e}$ — Mass absorption coefficient (radiation being absorbed) வெவ்வேறு அலைநீளங்களில் நிறை உட்கவர் எண் A.u.			
		A.u.	A.u.	0·560	0·710	1·656	2·287
அலுமினியம்	F.C.C	4·05	8·32	2·74	5·30	58·4	149
குரோமியம்	B.C.C.	2·88	2·87	15·7	30·4	316	89 9
கோபால்ட்	H.C.P.	c = 4·07, a = 2 51	1·786	21·8	41·6	54 4	126
செம்பு	F.C.C.	3·62	1·538	26·4	49·7	65 0	154
தங்கம்	F.C.C.	4·08	0·181	66·7	128	260	537
இரும்பு	B.C.C.	2·87	1·938	19·9	38·3	397	115

உலோகங்கள் (Metals)	படிக இலயமைப்பு (Crystal structure)	அணிக்கோவை மாறிலி (Lattice constant) A.u.	K_α சிறப்பு எக்ஸ் கதிரின் அலை நீளம் (K_α Characteristic X-ray wave-length) A.u.	$\frac{\mu}{e}$ — Massabsorption coefficient (radiation being abssorbed) வெவ்வேறு அலை நீளங்களில் நிறை உட்கவர் எண் A.u			
ஈயம்	F.C.C.	4·95	0·166	74·4	141	294	585
மக்னீசியம்	H.C.P.	c = 5·21 a = 3·21	9·87	2·27	4·38	47·9	120
மாலிப்டினம்	B C.C.	3·15	0·710	70·7	20·2	197	489
நிக்கல்	F.C.C.	3·52	1·656	25·0	47·4	6 10	145
வெள்ளி	F C.C.	4·09	0·559	14·8	28·6	276	585
டங்ஸ்டன்	B C.C.	3·16	0 210	54·6	105	209	456
பிளாட்டினம்	F.C.C.	3·92	0·184	64·2	123	248	518
துத்தநாகம்	H C.P.	c = 4·95 a = 2·66	1·488	28·2	54·8	72·1	169

II. அடிப்படைப் படிகவியல்

(Elementary Crystallography)

1. அறிமுகம்

(Introduction)

படிகங்களின் இயலமைப்புகளை (structures) அறிந்து, அவற்றைப் பிரித்து வகைப்படுத்துவதைப் பற்றிக் குறிப்பிடுவதே படிகவியலாகும். எல்லாப் பருப்பொருள்களும் (matter) அணுக்களாலும், மூலக்கூறுகளாலும் (molecules) ஆனவை. படிகங்களில் அணுக்கள் எல்லாம் ஒழுங்கான ஒரு முறையில் அமைந்து இருக்கின்றன. படிகமில்லாத மற்றப் பொருள்களில் (Non-crystalline materials), அணுக்கள் எல்லாம் ஒழுங்காக ஓர் அமைப்பில் இல்லாமல் இங்கும் அங்குமாகச் சிதறிக்கிடக்கும்.

படிகங்களில் எல்லா அணுக்களும் மிகவும் ஒழுங்காக வரிசைப்படுத்தி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அதாவது படிகத்திற்குள், அணுக்கள் அனைத்தும் திரும்பத்திரும்ப ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் முப்பரிமாணத்தில் அடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. படிகத்திற்குள் சில இயற்பியல், இரசாயன குணங்கள் (Physical and chemical properties), எல்லாத் திசைகளிலும் ஒரேமாதிரியாக இருக்காது. அதாவது வெவ்வேறு திசைகளில் வெவ்வேறு குணங்களைப் பெற்றிருக்கும். திசைக்குத்திசை மாறுபட்ட இயற்பியல் குணங்களைப் பெற்ற பொருள்களுக்குத் திசையொவ்வாப் பண்பியலான பொருள்கள் (anisotropic substances) எனப்பெயர். படிக உருவமற்ற பொருள்களில் (amorphous substances) இயற்பியல்—இரசாயனக் குணங்கள் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒன்றாயிருக்கும். திசைக்குத் திசை மாறுபடாத குணங்களைப் பெற்ற பொருள்களுக்குத் திசையொப்புப் பண்பியலான பொருள்கள் எனப்பெயர் (Isotropic substances).

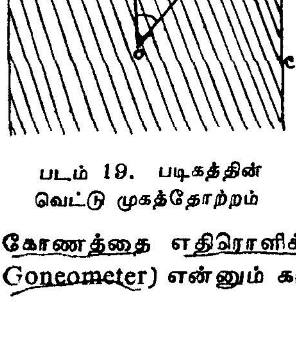
மேலும் படிகங்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட உருகுநிலையைப் (sharp melting point) பெற்றிருக்கின்றன. ஆனால் படிக உருவமற்ற பொருள்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட உருகுநிலையில் உருகுவதில்லை. படிகங்கள் உடைந்து சிதறும்பொழுது ஒழுங்கான ஒரு முறையில் உடையும். ஆனால், படிக உருவமற்ற பொருள்கள் உடையும் பொழுது, உடைந்த துண்டுகள் ஒழுங்கான துண்டுகளாக இல்லா

மல், வளைந்த மேற்பரப்பைக் (curved surfaces) கொண்டதாக இருக்கும்.

படிகத்தைச் சுற்றியுள்ள சமதளமான புறப்பரப்பிற்கு (plane surface) பக்கங்கள் (faces) எனப் பெயர். ஒரு பருப்பொருள் படிக உருவத்தில் இருந்தால், அப் படிகத்தின் ஒப்புமைப் பக்கங்களின் (corresponding faces) இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் (interfacial angle) கோணம் மாருமலிருக்கும். இதுவே படிக இயலின் முதல் விதியாகும் (First law of crystallography). ஒரு பொருளைப் படிகங்களாக்கும் பொழுது, எல்லாப் படிகங்களிலும் பக்கங்கள் ஒரே அளவிற்கு இல்லாமல் இருக்கலாம். ஆனுல் ஒப்புமைப் பக்கங்களின் இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் கோணம் (interfacial angles) எப்பொழுதும் ஒன்ருயிருக்கும்.

இக் கோணத்தின் மதிப்பைக்கொண்டு, குறிப்பிட்ட ஒரு படிகம் எந்த வகையைச் சார்ந்தது எனத் தெரிந்துகொள்ளலாம். வெவ்வேறு பொருள்கள் படிகங்களாக இருந்தால் அப் படிகங்களின் ஒப்புமைப் பக்கங்களுக்கு இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் கோணங்கள் அனைத்தும் ஒன்ருயிராது. அதாவது வெவ்வேறு படிகங்கள் வெவ்வேறு பரப்பிடைக் கோணங்களைப் பெற்றிருக்கும். கேல்சைட் ($CaCO_3$) என்ற படிகத்தின் ஒப்புமைப் பக்கங்களின் இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் கோணம் $74°55'$.

ஒப்புமைப் பக்கங்களுக்கு இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் கோணம் என்பது, ஒப்புமை பக்கங்களுக்கு வரையப்படும் செங்குத்துக் கோடுகளின் இடையிலுள்ள கோணமேயாகும்.



படம் 19. படிகத்தின் வெட்டு முகத்தோற்றம்

படம் 19-ல் ஒரு படிகத்தின் வெட்டு முகத்தோற்றம் காட்டப்பட்டிருக்கிறது. OA, OB என்ற இரு கோடுகள், a, b என்ற இரு ஒப்புமைப் பக்கங்களுக்கு வரையப்பட்டிருக்கும் செங்குத்துக் கோடுகள். கோணம் AOBயைப் பொதுவாக பரப்பிடைக்கோணம் என வழங்குகிரேம். மேற்சொன்ன பரப்பிடைக் கோணத்தை எதிரொளிக்கும் கோணியோ மீட்டர் (Reflecting Goneometer) என்னும் கருவியைக்கொண்டு அளக்கலாம்.

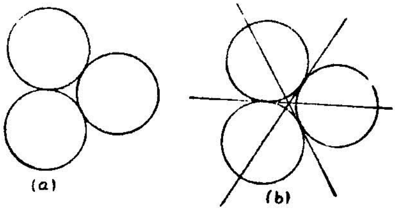
1669-ல் நீக்கோலாஸ் ஸ்டேனோ (Nicolaus Steno) என்னும் டானிஷ் பேராசிரியர் வெவ்வேறு இடங்களிலிருந்து குவார்ட்ஸ் (quartz) படிகங்களைக் கொண்டுவந்தார். பிறகு அவற்றின் ஒப்புமைப் பக்கங்களுக்கு இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் கோணங் களை அளந்ததில், அவை எல்லாம் சமமாயிருந்ததைக் கண்டார். இது படிகவியலின் முதல் விதியை (First law of cryrtallography) நிரூபித்துக் காட்டுகிறது.

2. சமச்சீர் தனிமங்கள்
(Symmetry Elements)

சமச்சீர் செய்கை (Symmetry Operation)

சமச்சீர் செய்கைகளின் துணைகொண்டு படிகங்களின் தன்மைகளை நன்கு அறிந்து கொள்ளலாம். ஒரு படிகம் அல்லது வேறு எந்தப் பொருளின் ஒரு பக்கத்தில் உள்ளமுகம், மூலை, ஓரம் போன்றவை அதன் எதிர்பக்கங்களிலும் அதை முற்றிலும் ஒத்தமுகம், மூலை, ஓரம் போன்றவை இருந்தால் அது சமச்சீர் எனப்படும். சமச்சீர் செய்கைகள் முக்கியமாக மூவகைப்படும் :

(1) அச்சுச் சமச்சீர் (Axis of symmetry) (2) மையச் சமச்சீர் (Centre of symmetry) (3) தளச்சமச்சீர் (Plane of symmetry).



படம் 20. சமச்சீர் செய்கையை விளக்கும் படம்

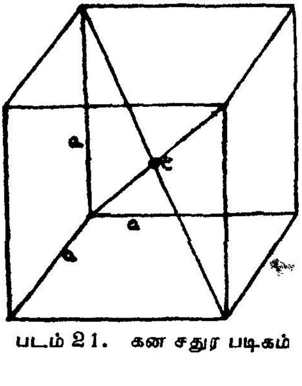
எடுத்துக்காட்டாகப் படம் 20 (a) ஐப் படத்திற்கு மையமாகவும் செங்குத்தாகவும் செல்லும் ஓர் அச்சின் (axis) மூலம் சுற்றும் பொழுது, ஒவ்வொரு 120° சுற்றிருக்கும்; படத்தின் தோற்றம் சுற்றுவதற்கு முன்பு இருந்த நிலையையே பெறுகிறது. இச் சுற்றும் செய்கைக்கு "சமச்சீர் செய்கை" எனப்பெயர். எனவே ஒரு முழுச் சுற்றுச் சுற்றும்பொழுது (360° சுற்றும்பொழுது), மூன்று தடவை முன் இருந்த தோற்றத்தைப் பெறுகிறது. ஆகையால் மேற் சொன்ன அச்சிற்கு மூன்று மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சு (Three fold symmetry axis) எனப்பெயர். இதிலிருந்து ஒரு பொருள் n மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சைப் பெற்றால், அப் பொருள் ஒவ்வொரு

$\left(\frac{360}{n}\right)^{\circ}$ சுற்றிற்கும் அதனுடைய முதல் தோற்றத்தைப் பெறு கிறது.

இதுபோல் படம் 20 (b)-ல். படத்திற்கு மையமாகப் படத்தின் தளத்திலேயே (In the plane of the paper) இருக்கின்ற ஓர் அச்சு தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. இந்த அச்சு இரண்டு வட்டங்களுக்குத் தொடு கோடாகவும், மூன்ருவது வட்டத்தை இருசம பாகங்களாக வெட்டும் சமவெட்டியாகவும் அமைகிறது. இந்த அச்சைச் சுற்றி இப்படத்தை 180° சுற்றிஞல்தான் முன் இருந்த தோற்றத்தைப் பெறுகிறது. இந்த அச்சுக்கு இரண்டு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சு (Two fold symmetry axis) எனப் பெயர்.ஏனென்ருல், ஒரு தடவை முழுமையாகச் சுற்றும்பொழுது, இரண்டு முறை முன்இருந்த தோற்றத்தைப் பெறுகிறது.

கனசதுர படிகத்தின் சமச்சீர் தன்மைகள் (Symmetry elements of a cubic crystal)

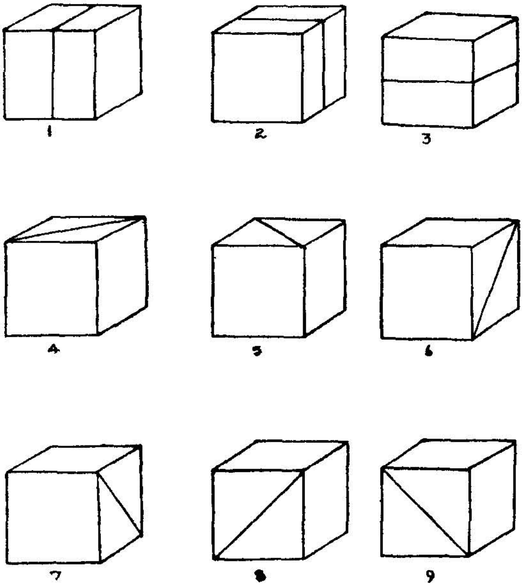
கனசதுர படிகத்தின் உடல் மையம் (body centre), வெவ்வேறு சமச்சீரான இடங்களிலிருந்து (Symmetrical Position) சமமான தூரத்தில் இருக்கிறது. உதாரணமாக (படம் 21) கனசதுர படிகத்தின் மையத்திலிருந்து ஏதாவது ஒரு மூலைக்கு ஒரு கோடு வரைவதாக வைத்துக் கொள்வோம். இக் கோட்டை மையத்திலிருந்து எதிர்திசையில் நீட்டி எதிர்முனையைத் தொடும் பொழுது, இரண்டு முனைகளும் மையத்திலிருந்து ஒரே தூரத்தில் இருக்கிறது என அறியலாம். இது போல் படிகத்தின் உடல் மையம், பக்கங்களின் மையங்களிலிருந்தும் சமதூரத்தில் இருக்கிறது.



படம் 21. கன சதுர படிகம்

மேற்குறிப்பிட்ட காரணங்களால் கனசதுர படிகத்தின் உடல் மையத்தை 'சமச்சீர் மையம்' (Centre of symmetry) என வழங்குகிறோம். எனவே, கனசதுர படிகம் ஒரு சமச்சீர் மையத்தைப் பெற்றிருக்கிறது எனக் கூறுகிறோம். ஆனல், நான்முகிப் (tetrahedran) படிகம் சமச்சீர் மையத்தைப் பெற்றிருப்ப தில்லை.

சமச்சீர்தளம் (Plane of Symmetry) என்பது இரண்டாவது வகையான சமச்சீர் தனிமமாகும். படம் 22-ல் காட்டியபடி, கன சதுரம் மூன்று நேர் சமச்சீர் தளங்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. அதேபோல் கனசதுரம் ஆறு மூலைவிட்ட சமச்சீர் தளங்களைப்

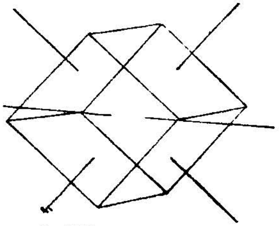


படம் 22 கனசதுரத்தின் சமச்சீர் தளங்கள்

(Diagonal planes) பெற்றிருக்கிறது. மேலே குறிப்பிட்ட ஒன்பது தளங்களும் (planes) படிகத்தை இரண்டு சரி பாதியாகப் பிரிப்ப தோடு, ஒவ்வொரு பாதியும் அந்தக் குறிப்பிட்ட தளத்தைப் டெ த்தமட்டில் மற்ற பாதியின் ஆடிப் பிம்பமாக (mirror image) அமைகிறது.

மூன்ருவது சமச்சீர் தனிமம் சமச்சீர் அச்சாகும் (Axis of symmetry). கன சதுரத்தின் பக்கங்களில் ஏதேனும் ஒன்றின் மையமாகவும், அப்பக்கத்திற்குச் செங்குத்தாகவும் உள்ள ஓர் அச்சைச் சுற்றி 90° சுற்றினல் கனசதுரம் முன்பு இருந்த தோற்றத்தைப் பெறுகிறது. எனவே, கனசதுரத்தை மேற்குறிப் பிட்ட அச்சைச் சுற்றி 360° சுற்றினல், நான்கு முறை பழைய தோற்றத்தைப் பெறுகிறது. ஆகையால் இந்த அச்சை நான்கு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சு (Axis of four fold symmetry) என வழங்குகிரும். கனசதுரம் மூன்று நான்கு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. மேற்குறிப்பிட்ட அச்சு டெட்ராட்

அச்சு (Tetrad axis) எனவும் வழங்கப்படுகிறது. ஆகையால் கனசதுரம் மூன்று டெட்ராட் அச்சுகளைப் பெற்றிருக்கிறது.



படம் 23. கன சதுரத்தின் டெட்ராட் அச்சுகள்

ஒரு படிகத்தைக் குறிப்பிட்ட ஒரு சமச்சீர் அச்சைச் சுற்றி $\left(\frac{360}{n}\right)^{\circ}$ சுற்றும்பொழுது அந்தப் படிகம் முன்பு இருந்த நிலையை அல்லது தோற்றத்தை அடையுமானால், அப்படிகம் n-மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சைப் பெற்றிருக்கிறது எனக் கூறினோம்.

n-ன் மதிப்பு ஒன்றானால் முந்திய தோற்றத்தைப் பெற படிகத்தின் சமச்சீர் அச்சைச் சுற்றி 360° சுற்ற வேண்டும். இம்மாதிரியான சமச்சீர் அச்சுக்கு சர்வசமமான அச்சு (Identity axis) எனப் பெயர்.

n-ன் மதிப்பு இரண்டானால் படிகத்தின் சமச்சீர் அச்சைச் சுற்றி 180° சுற்ற வேண்டும். இந்த சமச்சீர் அச்சுக்கு டையாட் அச்சு (diad axis) எனப் பெயர்.

n-ன் மதிப்பு மூன்றானால் படிகத்தின் சமச்சீர் அச்சைச் சுற்றி 120° சுற்றவேண்டும். இந்த அச்சு ட்ரையட் அச்சு (triad axis) என வழங்கப்படுகிறது.

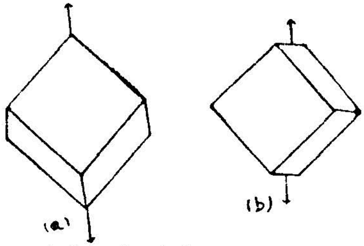
n-ன் மதிப்பு நான்கானால் படிகத்தின் சமச்சீர் அச்சைச் சுற்றி 90° சுற்றவேண்டும். ஆகையால் இந்த அச்சிற்கு டெட்ராட் (tetrad axis) அச்சு எனப் பெயர்.

n-ன் மதிப்பு ஆறானால் ஒவ்வொரு 60° சுற்றுக்கும் படிகம் முந்தைய தோற்றத்தைப் பெறுகிறது. இந்த அச்சிற்கு ஹெக்ஸாட் (hexad axis) அச்சு எனப் பெயர்.

படிகவியலின் மற்ற விதிகளை ஆராய்ந்ததில் n-ன் மதிப்பு ஆறுக்குமேல் இருக்க இயலாது என்பது தெரிய வந்தது. இது போன்று n-ன் மதிப்பு ஐந்தாகவும் இருக்க முடியாது எனக் கண்டறிந்தனர்.

கனசதுரம், சமச்சீர் மையம் (Centre of symmetry) ஒன்றையும், சமச்சீர் தளங்கள் (Planes of symmetry) ஒன்பதையும் (3-சமச்சீர் தளங்கள், 6-மூலைவிட்ட சமச்சீர் தளங்கள்) நான்கு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுகள் (Axis of four fold symmetry) மூன்றையும் பெற்றிருக்கிறது எனப் பார்த்தோம். இவற்றைத் தவிர இன்னும் சில சமச்சீர் அச்சுகளையும் கனசதுரம் பெற்றிருக்

கிறது. கீழே படத்தில் காட்டியபடி, உள் மூலை விட்டத்தை (Body diagonal) அச்சாகக் கொண்டு 120° சுற்றும்போது கன சதுரம் முன்பு இருந்த தோற்றத்தை அடைகிறது. அதாவது 360° சுற்றும் போது மூன்று முறை முன்பு இருந்த தோற்றத்தைப் பெறுகிறது. எனவே இந்த அச்சுக்கு மூன்று மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சு (Axis of three fold svmmetry) எனப் பெயர். இது படம் 24(a)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. கனசதுரத்திற்கு நான்கு மூன்று மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சு உண்டு. இதுபோல் எதிர் ஓரங்களின் மையங்கள் வழியாகச் செல்லும் கோட்டை அச்சாகக் கொண்டு 180° சுற்றும்பொழு படிகம் முன் இருந்த நிலையைப் பெறுகிறது, இந்த அச்சுக்கு இருமடிப்பு சமச்சீர் அச்சு (Axis of two fold symmetry) அல்லது டயாட் அச்சு (Diad axis) எனப் பெயர். கன சதுரத்திற்கு ஆறு இரு மடிப்பு சமச்சீர் அச்சுகள் உண்டு. இரு மடிப்புச் சமச்சீர் அச்சுப் படம் 24(b)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 24. இரண்டு மூன்று மடிப்புச் சமச்சீர் அச்சு

மொத்தத்தில் கனசதுரம், 23 சமச்சீர் தனிமங்களைப் பெற்றிருக்கிறது. இந்த சமச்சீர் தனிமங்கள் 23-ம் கீழ்க்கண்ட அட்டவணையில் வரிசைப்படி தரப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 1(a)

வரிசை எண்	சமச்சீர் தனிமங்கள்	எண்ணிக்கை
1.	சமச்சீர் மையம்	1
2. (a)	சமச்சீர் தளங்கள்	3
(b)	மூலைவிட்ட சமச்சீர் தளங்கள்	6
3. (a)	நான்கு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுகள்	3
(b)	மூன்று மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுகள்	4
(c)	இரு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுகள்	6
	மொத்த சமச்சீர் தனிமங்கள்	23

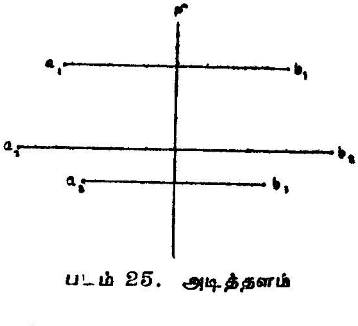
இதுகாறும் சொல்லப்பட்ட சமச்சீர் தனிமங்களைத் தவிர, கன சதுரம் இன்னும் சில சமச்சீர் தனிமங்களைப் பெற்றிருக்கின்றது.

(1) ஒரு கனசதுரத்தை X, Y, அல்லது Z அச்சின் திசையில் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம் நகர்த்தும் (translation) போது முன் இருந்த தோற்றத்தையே அடைகிறது. இதைச் சமச்சீர் தள்ளல் (translation symmetry) என வழங்குகிறோம்.

(2) இரு பரிமாணத்தில் ஒரு கோட்டினூடேயும் முப்பரிமாணத்தில் ஒரு தளத்தினூடேயும் எதிரொளித்தல். இந்தத் தளத்திற்கு ஆடித்தளம் (mirror plane) என்று பெயர். உதாரணமாக a_1, a_2, a_3 என்ற மூன்று புள்ளிகளைப் படத்தில் காட்டியபடி (படம் 25) எடுத்துக் கொள்வோம். இம் மூன்று புள்ளிகளும் P என்ற ஆடித் தளத்தினூடே எதிரொளிப்புச் செய்தால் b_1, b_2, b_3 என்ற மூன்று புள்ளிகள் கிடைக்கும்.

(3) கவிழ்ந்தல் (Inversion)

ஆடித்தளத்தில் தளத்தினூடே எதிரொளிப்பதுபோல் இங்கே ஒரு புள்ளி வழியாக எதிரொளிக்கப்படுகிறது (reflection through a point). படத்தில் காட்டியுள்ள படி முக்கோணத்தில் உள்ள a_1, a_2, a_3 என்ற புள்ளிகளும் C என்ற புள்ளி வழியாக எதிரொளிப்புச் செய்து b_1, b_2, b_3 என்ற மூன்று புள்ளிகளாகக் கிடக்கிறது. b_1, b_2, b_3 என்ற முக்கோணம் a_1, a_2, a_3 என்ற முக்கோணத்திற்குத் தலைகீழாக இருக்கிறது.



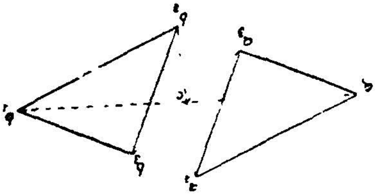
படம் 25. அடித்தளம்

(4) சுற்றிக் கவிழ்க்கும் அச்சு (Axis of rotary inversion)

தனித்தனியான சமச்சீர் தனிமங்களைத் தவிர, இரண்டு மூன்று சமச்சீர் தனிமங்களை வெவ்வேறு வழிகளில் சேர்த்தும் சமச்சீர் செய்கைகள் அமையலாம். இதற்குக் கலப்புச் சமச்சீர் செய்கை (composite symmetry operation) எனப் பெயர். உதாரணமாகச் சுற்றிக் கவிழ்க்கும் அச்சு (axis of rotary inversion) சமச்சீர் அச்சாக அமையும். இது இந்த அச்சைக் கொண்டு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் சுற்றி, பிறகு அந்த அச்சில் உள்ள ஒரு புள்ளி வழியாகக் கவிழ்த்தலாகும்.

(5) நழுவுத்தளம் (Glide plane)

ஆடித்தளம் (Mirror plane) சமச்சீர் தள்ளலுடன் (translation symmetery) சேர்ந்து வருகின்ற செய்கையை நழுவுத் தளம் (glide plane) எனக் கூறுகிறோம்.



படம் 26. புள்ளிவழியாக எதிரொளித்தல்

(6) திருகாணி அச்சு (Screw axis)

ஒரு சமச்சீர் அச்சு, அந்த அச்சின் இணையான திசையில் நகர்கின்ற ஒரு சமச்சீர் தள்ளலோடு (translation symmetry) கூட்டாகப் பெறுகின்ற சமச்சீர் தனிமத்தைத் திருகாணி அச்சு எனக் கூறுகிறோம்.

படிகங்களின் சமச்சீர் தனிமங்கள் (symmetry elements) அனைத்தும் (தனித்தனியான சமச்சீர் தனிமங்களோ அல்லது இரண்டு மூன்று சமச்சீர் தனிமங்கள் சேர்ந்த கலப்புச் சமச்சீர் தனிமங்களோ) மொத்தம் 32 வகைக்குள் அடங்கும். அவை படிகத்தின் 32 சமச்சீர் வகைகள் (thirty two crystal symmetry classes) என வழங்கப்படுகின்றன.

படிகங்களின் அமைப்பை மட்டும் கொண்டு ஒரு படிகம் கன சதுர படிகத்தைச் சேர்ந்ததா, இல்லையா எனக் கண்டு கொள்ள முடியாது. படிகத்தின் ஒளியியல் தன்மைகள் (optical properties) மின்தன்மைகள் (electrical properties) இவற்றைக் கொண்டும், படிகத்தின் இயலமைப்பை (structure) எக்ஸ்கதிர்களைக் கொண்டும் ஆராய்ந்துதான், படிகம் எவ்வகையைச் சார்ந்தது என உறுதிப் படுத்த முடியும்.

ஒருபடிகத்தின் ஒப்புமைப் பக்கங்களின் இடையிலுள்ள பரப்பிடைக் கோணங்கள் அனைத்தும் 90° ஆக இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதனைக் கொண்டு உடனே இப் படிகம் கனசதுரம் எனச் சொல்ல முடியாது. இப் படிகத்தின் இயலமைப்பை எக்ஸ்

கதிர்களைக் கொண்டு ஆராய்ந்தால் நான்கு பக்கங்கள் ஒரே மாதிரியாகவும், மற்ற இரு பக்கங்கள் வேறு மாதிரியாகவும் இருக்கலாம்.

ஆகையால் ஒரு படிகம் எந்த இனத்தைச் சார்ந்தது என உறுதிப்படுத்த, அப் படிகத்தின் புறத்தோற்றம், இயலமைப்பு (structure) ஆகிய இவற்றைப்பற்றி நன்கு தெரிந்து கொள்ள வேண்டியது அவசியம்.

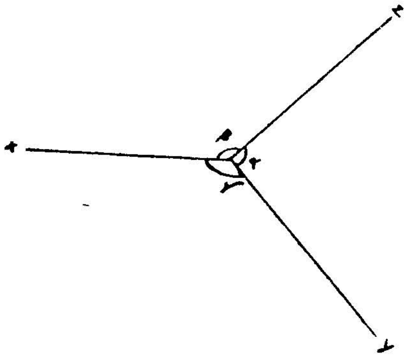
போலியான சமச்சீர் (Pseudo Symmetry)

படிகக் கரைசலைக் கொண்டு குறிப்பிட்ட படிகத்தை வளர்க்கும் பொழுது, அப் படிகம் தனியாக ஒரே படிகமாகப் பெரும்பாலும் வளர்வதில்லை. ஒரு படிகத்தினூடே இரண்டு மூன்று படிகங்கள் சேர்ந்து வளரும் (inter growth). ஒரு படிகத்தின்மேல் அதே பொருளின் இன்னொரு படிகம் அமைந்து இரட்டைப் படிகங்களாகக் (twins) காணப்படுவதும் உண்டு. இம்மாதிரியான இரட்டைப் படிகங்களின் சமச்சீர் தனிமங்கள், தனிப் படிகத்தின் சமச்சீர் தனிமங்களைக் காட்டிலும் குறைவாகவோ அல்லது அதிகமாகவோ இருக்கும். இதற்குப் பெயர் போலியான சமச்சீர் (pseudo symmetry) என்பதாகும். உதாரணமாக கனசதுரத்தின் இரட்டைப் படிகங்கள் ஆறு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுகளைப் பெறலாம். ஆனல், கனசதுரத்தின் தனியான ஒரு படிகத்திற்கு (single crystal) ஆறு மடிப்புடைய சமச்சீர் அச்சுகள் கிடையாது. மைக்கா (mica mineral) என்ற தாதுப்பொருள் சாதாரணமாகப் போலியான சமச்சீர் உடையதாக இருக்கும்.

3. படிகவியலில் குறிக்கப்படும் அச்சுகள்
(Crystallographic Axis)

படிகத்தைப்பற்றி விவரமாகத் தெரிந்துகொள்ள படிகத்தின் ஒவ்வொரு பக்கத்தையும் தனித் தனியாகக் குழப்பமில்லாமல் குறிப்பிடவேண்டிய தேவை ஏற்படுகிறது. படிகவியல் வல்லுநர்கள், படிகத்தின் அச்சுகளைக் (crystal axis) கொண்டு பக்கங்களைக் குறிப்பதற்குரிய முறைகளைக் கண்டு பிடித்துள்ளார்கள். ஒரே தளத்தில் இல்லாத (non-coplanar) மூன்று திசைகளைப் படிகத்தில் தேர்ந்தெடுத்து, அவற்றையே படிகவியல் அச்சுகளாகக் கொள்ளலாம். மேற்சொன்ன மூன்று திசைகளைத் தேர்ந்தெடுப்பதில் படிகவியல் வல்லுநர்கள் ஒரு மரபை (convention) ஏற்படுத்தியுள்ளார்கள்.

ஒரு படிகத்தைக் கையில் எடுத்து அதைக் கவனித்தால், கவனிப்பவர்களின் திசையை நோக்கி உள்ள அச்சிற்கு *X* அச்சு எனப் பெயர். *X* அச்சுக்குச் செங்குத்தாக அதற்கு வலப்புறம் உள்ள அச்சுக்கு *Y* அச்சு எனப் பெயர். இவ் விரண்டு அச்சுகளுக்கும்



படம் 27. அச்சுகளுக்கிடையே உள்ள கோணங்கள்

செங்குத்தாக உச்சிக்குரிய அச்சிற்கு (vertical axis) *Z* அச்சு எனப் பெயர்.

அச்சுகளைக் குறிப்பதற்கு ஒரு மரபைக் கைக்கொண்டதுபோல், அச்சுகளுக் கிடையேயுள்ள கோணங்களைக் குறிக்கவும் ஒரு மரபைக் கொண்டுள்ளார்கள். $\wedge$ என்ற குறி அச்சுகளுக்கிடையே உள்ள கோணங்களைக் குறிக்கவோ அல்லது பக்கங்களுக்கிடையே உள்ள கோணங்களைக் குறிக்கவோ அல்லது தளங்களுக்கிடையே உள்ள கோணங்களைக் குறிக்கவோ பயன்படுத்தப்படுகிறது. Y அச்சிற்கும், Z அச்சிற்கும் இடையேயுள்ள கோணம் α வாகும். $Y \wedge Z = \alpha$. இதுபோல் X அச்சிற்கும், Z அச்சிற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் β வாகும். $X \wedge Z = \beta$. X அச்சிற்கும் Y அச்சிற்கும் இடைகோணம் γ வாகும். $X \wedge Y = \gamma$.

அச்சின் விகிதங்கள் (Axial Ratios)

மேற்சொன்னபடி படிக அச்சுகளைத் தேர்ந்தெடுத்த பிறகு இம் மூன்று அச்சுகளையும் வெட்டக்கூடிய ஒரு தளம் நிர்ணயிக்கப் படுகிறது. இத் தளத்திற்கு அலகு தளம் (Unit plane) எனப் பெயர். இத் தளம் X அச்சில் a அலகு நீளத்தையும், Y அச்சில் b அலகு நீளத்தையும், Z அச்சில் c அலகு நீளத்தையும் வெட்டுவதாகக் கொள்வோம். a, b, c என்ற மூன்று நீளங்கள் படிகத்தின் துணை யலகுகள் எனக் கூறப்படுகின்றன (parameters of the crystal). மேற்கூறிய மூன்று நீளங்களும் எல்லாப் படிகங்களுக்கும் ஒன்று யிராது. படிகத்தின் உருவத்திற்குத் தகுந்தாற்போல் மாறுபடும். படிகத்தின் துணையலகுகளின் விகிதம், அச்சின் விகிதங்கள் (para metral ratios) என வழங்கப்படுகின்றன.

பொதுவாக b அலகு நீளத்தை ஒன்றுக்குச் சமமாக்கி, இதற்குத் தகுந்தாற்போற் மற்ற நீளங்களை மாற்றிக் குறிப்பிடுவது வழக்கம். உதாரணமாக அயோடினின் துணையலகு விகிதங்கள் கீழ்வருமாறு இருக்கின்றன:

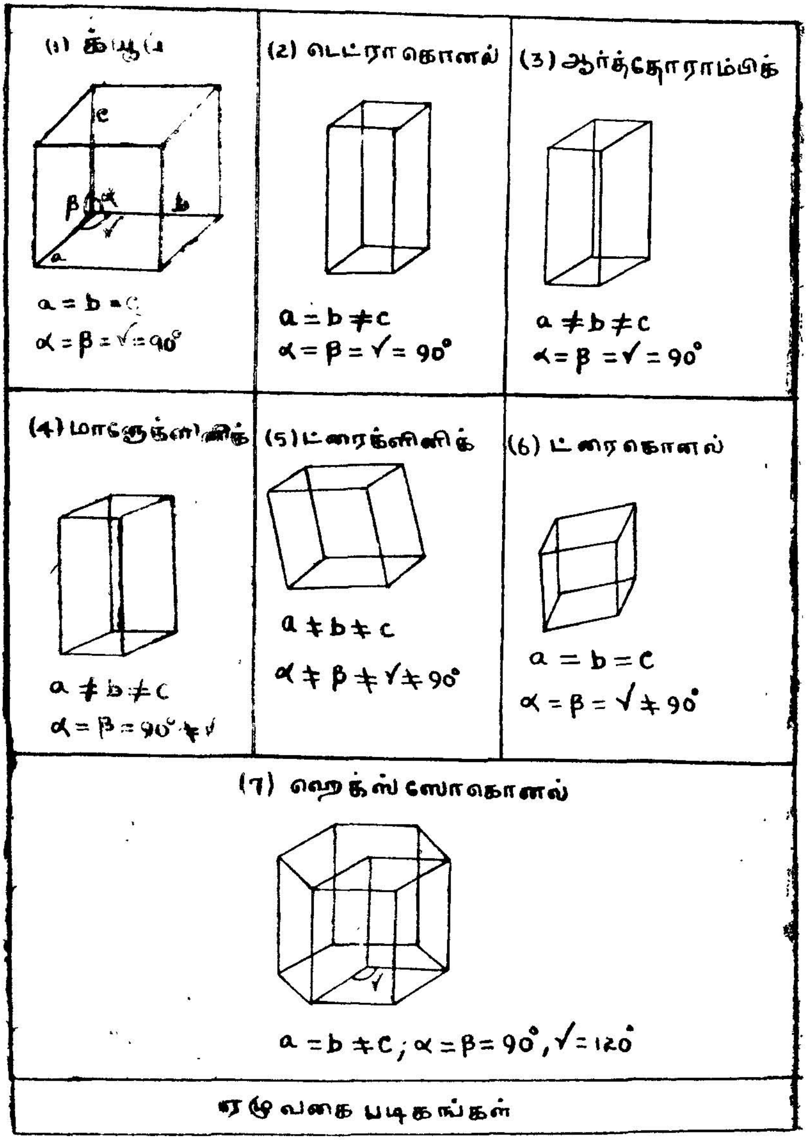
$$a : b : c = 0{\cdot}661 : 1 : 1{\cdot}348$$

ஒரு படிகத்தின் இரண்டு அச்சுகளின் அலகு நீளங்கள் சமமாக இருக்குமானால் அப் படிகத்தின் துணையலகு விகிதங்கள் a, a, c எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது. உதாரணமாக ரூடைலி (Rutile—TiO_2)-ன் துணையலகு விகிதங்கள் பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது:

$$a : c = 1 : 0{\cdot}6442$$

அல்லது

சுருக்கமாக $c = 0{\cdot}6442$ என்று குறிப்பிடுகிறோம்.



படம் 28. ஏழுவகை படிகங்கள்

துணையலகுகளின் விகிதங்கள் $a : b : c$யும், அச்சுகளுக்கு இடையே உள்ள கோணங்கள் α, β, γவும், படிகத்தின் வடிவ கணித மாறிலிகள் (Geometrical constants of a crystal) என வழங்கப்படு

கின்றன. a, b, c என்ற மூன்று நீளங்களும், α, β, γ என்னும் அச்சுகளுக்கிடையே யுள்ள மூன்று கோணங்களும் தெரிந்தால், அப் படிகத்தின் அமைப்பு, அளவு முதலியவற்றைத் தெரிந்து கொள்ளலாம்.

படிகத்தின் ஏழு சமச்சீர் வகைகள் (The seven crystal symmetry systems)

படிகங்களின் அமைப்பைப் பொறுத்து அவை 7 வகைகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. 7 வகைகளின் படங்களும், அவற்றைப் பற்றிய குறிப்புகளும் படம் 28-ல் கொடுக்கப்பட்டிருக்கிறது.

அட்டவணை 2.

ஏழுவகை படிகங்கள்

	வகைகள்	அச்சு விகிதங்கள்	அச்சுகளுக்கிடையேயுள்ள கோணங்கள்	உதாரணங்கள்
(1)	ஐசோமெட்ரிக் (Isometric) — க்யூப்	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 9^{\circ}$	செம்பு, வெள்ளி, இரும்பு
(2)	டெட்ராகொனல் (Tetragonal)	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	டிடானியம் ஆக்ஸைடு (TiO_2), நிக்கல் ஸல்பேட்டு ($NiSO_4$)
(3)	ஆர்த்தோராம்பிக் (Orthorhombic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^{\circ}$	சல்பர், ஐயோடின், பொட்டாசியம் நைட்ரேட் ($K NO_3$)
(4)	மானோக்ளினிக் (Monoclinic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta = 90^{\circ} \neq \gamma$	சோடியம் பைகார்பனேட் ($Na HCO_3$) ஜிப்சம் ($Ca SO_4$ $2 H_2 O$)
(5)	டிரைக்ளினிக் (Triclinic)	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{\circ}$	பொட்டாசியம் டைகுரோமேட் ($K_2 Cr_2 O_7$), சோடியம் சிலிகேட் ($Na Al Si_3 O_8$)

(6)	டிரைகோனல் (Trigonal or Rhombohedral)	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	பிஸ்மத், ஆர்ஸனிக், சோடியம் நைட்ரேட் ($NaNO_3$)
(7)	ஹெக்ஸாகோனல் (Hexogonal)	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	துத்தநாகம், மக்னீசியம், கோபால்ட்

4. மில்லர் காட்டிகள்
(Miller Indices)

படிகதளங்கள் (Crystal planes)

படிகவியலில் அடிக்கடி இடஅணிக்கோவையினூடே (space lattice) செல்லும் தளங்களில் (planes) ஏதேனும் ஒன்றைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்ல வேண்டியிருக்கும். ஆகையால், தளங்கள் ஒவ்வொன்றையும் தனித்தனியாகக் குறிப்பிடக் கீழ்க் கண்ட முறைகளை மேற்கொள்கிரோம் :

(1) X, Y, Z என்ற மூன்று படிக அச்சுகள் உள்ளன என முன் பார்த்தோம். குறிப்பிட்ட தளம் மேற்சொன்ன அச்சுகளில் எவ்வளவு அலகு வெட்டுத் துண்டுகளைத் (intercepts) தனித்தனியாக உண்டாக்குகிறது என முதலில் கணக்கிடவேண்டும்.

(2) பிறகு மேற் சொல்லியபடி கணக்கிட்ட வெட்டுத் துண்டு களின் தலைகீழ் மதிப்பைக் கணக்கிடவேண்டும். அதாவது வெட்டுத்துண்டுகளின் மதிப்பு 1, 2, 3 என இருந்தால் அதன் தலைகீழ் மதிப்பு $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ என்பதாகும்.

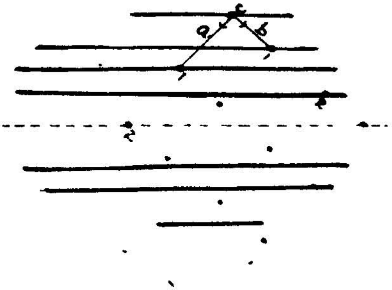
(3) கண்டு பிடிக்கப்பட்ட தலைகீழ் மதிப்புகள் பின்னமாயிருந்தால், அவற்றைப் பொது எண்ணால் பெருக்கி முழு எண்ணாக்க வேண்டும்.

மேற்சொன்ன முறையைப் படம் 29 மூலம் விளக்குவோம். இப் படத்தில் தளங்கள் எல்லாம் c என்ற அச்சுக்கு (அதாவது Z அச்சு) இணையாக இருக்கின்றன. படத்தில் வெட்டுக் கோட்டால் போடப்பட்ட தளத்தைச் சற்றுக் கவனிப்போம்.

முதல் விதியின்படி மேற்சொன்ன தளம் மூன்று அச்சுகளிலும் வெட்டுகிற வெட்டுத் துண்டுகள் முறையே $(2, 3, \infty)$ யாகும்.

இரண்டாவது விதியின்படி இவற்றின் தலைகீழ் மதிப்பு $(\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{\infty})$ ஆகும். மூன்ருவது விதிப்படி, மேற்கண்ட

மூன்று பின்னங்களையும், அதமப் பொது எண் 6 ஆல் பெருக்கினுல் கிடைக்கக் கூடிய மதிப்பு 3, 2, 0 வாகும். 3, 2, 0 என்ற முழு

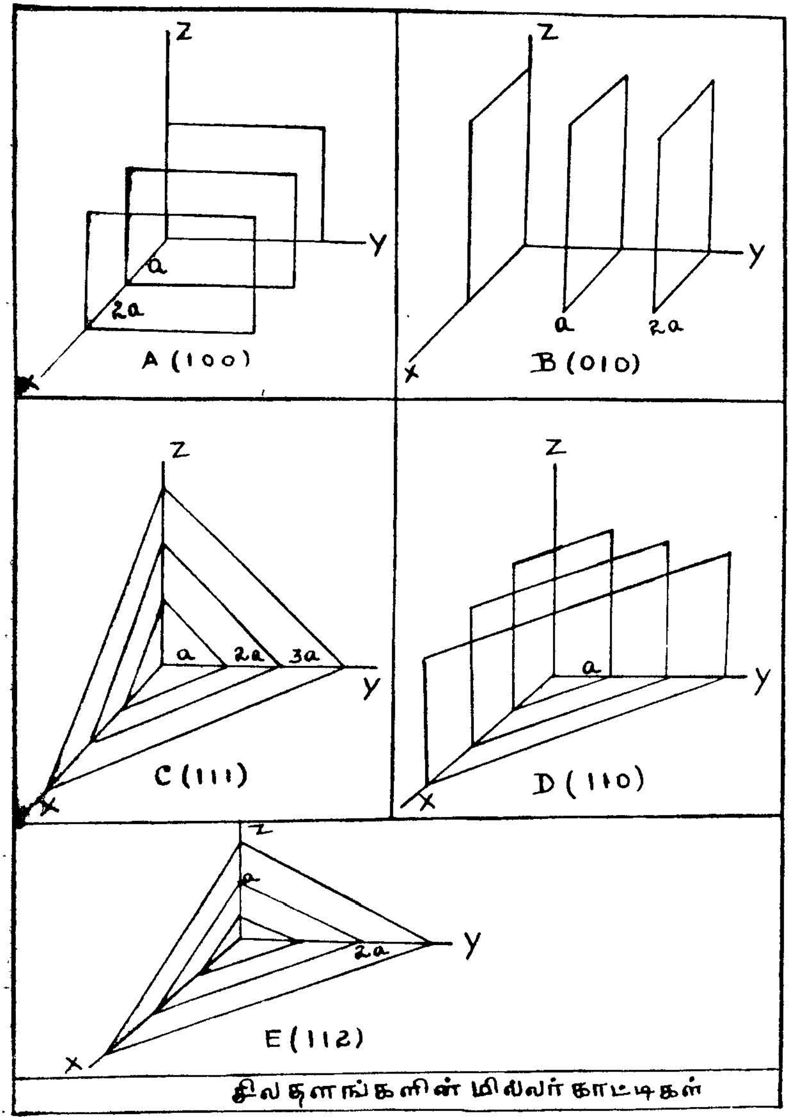


படம் 29. மில்லர் காட்டிகள்

எண்களே (integers) மில்லர் காட்டிகளாகும். இம் முறையைக் கண்டுபிடித்தவர் இங்கிலாந்து நாட்டுப் படிகவியாலளர் W.H.மில்லர். ஆகையால், இவருடைய பெயராலேயே அவை வழங்கப்படு கின்றன. எப்பொழுதும் மில்லர் காட்டிகள் ஓர் அடைப்புக் குறிக்குள் போட்டுக் குறிப்பிடப்படுகின்றன. பொதுவாக மில்லர் காட்டிகளை (h, k, l) எனக் குறிப்பிடுவது வழக்கம். அதாவது மேற் கண்ட மில்லர் காட்டிகளைப் பெற்ற தளத்திற்கு ஒரு போக்காக அமைந்த தளங்கள் அத்தனையும் X அச்சில் h பங்கு துண்டுகளையும், Y அச்சில் k பங்கு துண்டுகளையும், Z அச்சில் l பங்கு துண்டுகளையும் உண்டாக்குகின்றன எனப் பொருள்.

படிகவியலில் குறிப்பிடப்படும் அச்சுகள் மேற்கோள் (reference) அச்சுகளே யாகும். இந்த அச்சுகள் தோற்றுவாயிலி (origin) ருந்து நேர் திசையிலும், எதிர் திசையிலும் (positive and negative directions) நீண்டு இருக்கின்றன. ஆகையால் ஒரு குறிப்பிட்ட தளம் எதிர் திசை X அச்சில் (negative X axis) h வெட்டுத் துண்டுகளை வெட்டினுல் அதன் மில்லர் காட்டியை $\bar{h}$ எனக் குறிப்பிடுகிறேம்.

ஒரு போக்காக உள்ள பல தளங்களில் (many parallel planes), ஒவ்வொரு தளமும் சமதூரத்தில் இருந்தால், அவை எல்லா வற்றிற்கும் மில்லர் காட்டிகள் ஒன்றேயாகும். அதாவது தோற்று வாய் (orgin) வழியாகச் செல்லும் தளத்தின் மில்லர் காட்டிகள் அதற்கு இணையாகச் செல்லும் மற்ற தளங்களின் மில்லர் காட்டி களுக்குச் சமமாகும்.



படம் 30. சில தளங்களின் மில்லர் காட்டிகள்

சில தளங்களின் மில்லர் காட்டிகள் (Miller indices of some planes)

ஒரு கன சதுரத்தில் X அச்சிற்குச் செங்குத்தாக உள்ள தளம், (1, 0, 0) என்ற மில்லர் காட்டிகளை உடையதாயிருக்கிறது. இந்தத்

தளம் படம் (30-A)-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. இதைப் போல் Y அச்சிற்குச் செங்குத்தாக உள்ள தளத்தின் மில்லர் காட்டிகள் (0, 1, 0) வாகும். இதைப் படம் (30-B) காட்டுகிறது. மூன்று அச்சுகளிலும், ஒரு குறிப்பிட்ட தளம் ஒரே மதிப்புள்ள வெட்டுத் துண்டுகளை வெட்டினால், அத்தளத்தின் மில்லர்காட்டிகள் (1,1,1) ஆகும். இதைப் படம் (30-C) காட்டுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட தளம் Z அச்சிற்கு இணையாகவும், X, Y என்ற அச்சில் ஒரே மதிப்புள்ள வெட்டுத்துண்டை வெட்டுவதாகவும் இருந்தால், அத் தளத்தின் மில்லர் காட்டிகள் (1,1,0) ஆகும். இதைப் படம் (30-D) காட்டுகிறது. படம் (30-E) தளம் (1,1,2)ஐக் காட்டுகிறது.

தளங்களுக்கு இடையேயுள்ள தூரம் (Inter planer spacing)

ஒருபோக்காக உள்ள தளங்களுக்கு இடையேயுள்ள தூரத்தை எவ்விதம் கணக்கிடலாம் என்பதைக் காண்போம். சாதாரண யூனிட் செல்லில் (unit cell), ஆய அச்சுகள் (co-ordinate axes) மூன்றும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருப்பதில்லை. ஆகையால், இதில் ஒரு போக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரத்தைக் கணக்கிடுவது எளிதல்ல. ஆனால் க்யூப், டெட்ராகொனல், ஆர்த்தோராம்பிக் போன்ற உயிர்மங்களில், ஆய அச்சுகள் ஒன்றுக் கொன்று செங்குத்தாக இருக்கும். இக் காரணத்தால் ஒரு போக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரத்தை எளிதில் கணக்கிடலாம். அட்டவணை 3-ல் ஏழு படிக வகைகளின் ஒருபோக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரம் கணக்கிடப்பட்டுத் தரப்பட்டிருக்கிறது.

ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ள ஆய அச்சுகளுடைய ஓரலகு உயர்மத்தில், ஒருபோக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரத்தைத் தேக்காட்டின் வடிவ கணிதத்தைக் கொண்டு (Cartesion geometry) கணக்கிடலாம்.

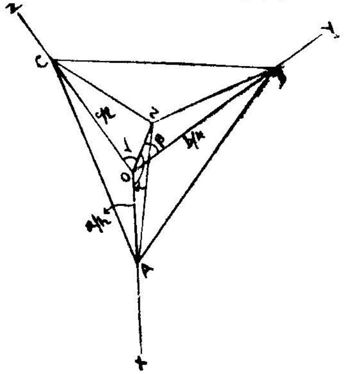
ஏதாவது ஓர் அணிக் கோவைப் புள்ளியைத் (Lattice point) தோற்றுவாயாகக் (origin) கொள்வோம். OX, OY, OZ என்ற மூன்றும் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான அச்சுகள்.

அட்டவணை 3.

System	$a:b:c$	α, β, γ	d_{hkl}
Cube	$1:1:1$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a\,[h^2 + k^2 + l^2]^{-\frac{1}{2}}$
Tetragonal	$1:1:c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\left[\frac{h^2 + k^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$
Orthorhombic	$a:1:c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$\left[\frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$
Hexagonal	$1:1:c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	$\left[\frac{4}{3}\frac{(h^2 + hk + k^2)}{a^2} + \frac{l^2}{c^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$
Rhombohedral	$1:1:1$	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$\frac{a\,[1 + 2\cos^3\alpha - 3\cos^2\alpha]^{\frac{1}{2}}}{[(h^2 + k^2 + l^2)\sin^2\alpha + 2(hk + kl + lh)(\cos^2\alpha - \cos\alpha)]^{\frac{1}{2}}}$
Monoclinic	$a:1:c$	$\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ$	$\left[\frac{\frac{h^2}{a^2} + \frac{l^2}{c^2} + \frac{2hl\cos\beta}{ac}}{\sin^2\beta} + \frac{k^2}{b^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$

Triclinic	$a : 1 : c \quad \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	$\dfrac{\left[\dfrac{h}{a} \begin{vmatrix} h/a & \cos\alpha & \cos\beta \\ k/b & 1 & \cos\alpha \\ l/c & \cos\alpha & 1 \end{vmatrix} + \dfrac{k}{b} \begin{vmatrix} 1 & h/a & \cos\beta \\ \cos\gamma & k/b & \cos\alpha \\ \cos\beta & l/c & 1 \end{vmatrix} + \dfrac{l}{c} \begin{vmatrix} 1 & \cos\gamma & h/a \\ \cos\gamma & 1 & k/b \\ \cos\beta & \cos\alpha & \dfrac{l}{c} \end{vmatrix} \right]^{-\frac{1}{2}}}{\begin{vmatrix} 1 & \cos\gamma & \cos\beta \\ \cos\gamma & 1 & \cos\alpha \\ \cos\beta & \cos\alpha & 1 \end{vmatrix}}$

தோற்றுவாய்க்கும், $\frac{a}{h}$, $\frac{b}{k}$, $\frac{c}{l}$ என்ற வெட்டுத் துண்டுகளை வெட்டும் தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள செங்குத்தான தூரத்தைக் கணக்கிட்டால், அதுவே ஒருபோக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரத்தைக் கொடுக்கிறது. ஒரு தளம் தோற்றுவாய் வழியாகச் செல்வதாகக் கொள்வோம். *ON* என்பது தோற்றுவாய்க்கும், தோற்றுவாய் வழியாகச் செல்லும் தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள செங்குத்துக் கோடு (perpendicular distance) எனக் கொள்வோம். இந்தச் செங்குத்துக் கோட்டின் நீளம் '*d*' யாக இருக்கட்டும். இதேபோல், தோற்றுவாய் வழியாகச் செல்லும் தளத்திற்கும் அதற்கு அடுத்த தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் '*d*' ஆகவே இருக்கும். ஆகையால் '*d*' தூரத்தை எவ்வாறு கணக்கிடுவது எனப் பார்ப்போம்.



படம் 31. ஒரு போக்குத் தளங்களுக்கிடையே உள்ள தூரம்

தோற்றுவாய் வழியாகச் செல்லும் தளத்திற்கும் *X* அச்சிற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் α வாக இருக்கட்டும். அதேபோல் மேற்சொன்ன தளத்திற்கும் *Y* அச்சிற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் β வாகவும், தளத்திற்கும் *Z* அச்சிற்கும் இடையிலுள்ள கோணம் γ வாகவும் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது. அதாவது

$$\underline{|NOX} = \alpha, \quad \underline{|NOY} = \beta, \quad \underline{|NOZ} = \gamma.$$

மேலே காட்டியுள்ள படத்தின்படி

$$d = \frac{a}{h}\cos\alpha = \frac{b}{k}\cos\beta = \frac{c}{l}\cos\gamma \qquad \ldots \qquad (1)$$

கனவடிவ கணிதப்படி (Solid geometry)

$$\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1 \qquad \ldots \qquad (2)$$

இரண்டாவது சமன்பாட்டிலிருந்து $\cos\alpha$, $\cos\beta$, $\cos\gamma$ என்ற மூன்றுக்கும் பிரதியிட்டால்

$$d^2\left[\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}\right]=1$$

$$d=\left[\frac{h^2}{a^2}+\frac{k^2}{b^2}+\frac{l^2}{c^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

கனசதுரத்திற்கு (cube), $a=b=c$ யாகும். அதனால் இப் படிக வகையில் ஒருபோக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரம்

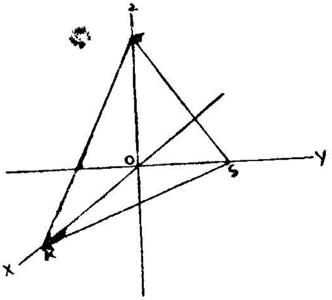
$$d=a\left[h^2+k^2+l^2\right]^{-\frac{1}{2}}$$

டெட்ராகொனல் (tetragonal) படிக வகைக்கு, $a=b$ யாகும். ஆகையால் இப் படிக வகையில் ஒருபோக்குத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரம்

$$d=\left[\frac{h^2+k^2}{a^2}+\frac{l^2}{c^2}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

அட்டவணை 8-ல் ஒரு போக்குத்தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரம் ஏழு படிக வகைகளுக்கும் கணக்கிட்டுக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

[$h\ k\ l$] தளத்திற்குரிய சமன்பாடு (Equation of the plane $h\ k\ l$)



படம் 32.
khl தளம்

கனசதுர படிகத்தில் (Cubic crystal) [hkl] தளத்தின் சமன்பாட்டைக் கீழே பார்ப்போம் :

படம் 32-ல் $R\ S\ T$ என்ற தளம், X, Y, Z என்ற ஆய அச்சுகளில் (Co-ordinate axes) OR, OS, OT என்ற வெட்டுத் துண்டுகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. பகுமுறைவரை கணிதப்படி (Analytical geometry) மேற்கண்ட தளத்தின் சமன்பாடு வெட்டுத் துண்டு வடிவத்தில் பின்வருமாறு எழுதப்படுகிறது :

$$\frac{x}{OR}+\frac{y}{OS}+\frac{z}{OT}=1 \qquad \ldots \quad (1)$$

எடுத்துக்கொண்ட படிகம் கனசதுரமாதலால் a_0 என்ற அலகு நீளம் (unit length) எல்லாப் பக்கங்களிலும் சமமாக இருக்கட்டும் மூன்று அச்சுகளிலும் வெட்டுத் துண்டுகள் r, s, t ஆக இருக்கட்டும்.

ஆகையால் $OR=ra_0$, $OS=sa_0$, $OT=ta_0$ ... (2)

இரண்டாவது சமன்பாட்டிலுள்ட மதிப்பை ஒன்ருவது சமன்பாட்டில் பிரதியிட்டால்

$$\frac{x}{ra_0} + \frac{y}{sa_0} + \frac{z}{ta_0} = 1 \qquad \ldots \qquad (3)$$

அல்லது

$$stx + rty + rsz = rst\, a_0 \qquad \ldots \qquad (5)$$

ஏற்கெனவே மில்லர் காட்டிகளைப் பற்றி விரிவாகப் பார்த்தோம். அதன்படி $h \propto \frac{1}{r}$, $k \propto \frac{1}{t}$, $l \propto \frac{1}{t}$. அதாவது $h \propto st$, $k \propto rt$, $l \propto rs$. அல்லது,

$$h = \frac{st}{p}, \; k = \frac{rt}{p}, \; l = \frac{rs}{p}$$

இதில் p என்பது மாறிலி. st, rt, rs இவற்றின் மதிப்புகளை, 5 ஆவது சமன்பாட்டில் பிரதியிட்டால்

$$hpx + kpy + lpz = rst\, a_0 \qquad \ldots \qquad (6)$$

அதாவது,

$$hx + ky + lz = \frac{rst\, a_0}{p} \qquad \ldots \qquad (7)$$

[h k l] என்ற தளத்தின் பொதுவான சமன்பாடு

$$hx + ky + lz - D = 0 \qquad \ldots \qquad (8)$$

இதில் D என்பது $\frac{rsta_0}{p}$ யாகும்.

பகு முறை வரை கணிதப்படி, $Ax + By + Cz - D = 0$ என்ற தளத்திற்கு ஒரு போக்காகவும், $P(x_1, y_1, z_1)$ என்ற புள்ளி வழியாகச் செல்வதுமான தளத்தின் சமன்பாடு.

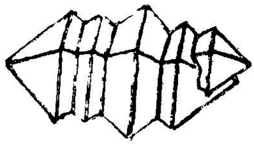
$$Ax + By + Cz - (Ax_1 + By_1 + Cz_1) = 0 \qquad \ldots \qquad (9)$$

$P(x_1, y_1, z_1)$ என்ற புள்ளி $P(0, 0, 0)$ என்ற புள்ளிக்குச் சமமானல், $[h, k, l]$ என்ற காட்டிகளை யுடையதும், தோற்றுவாய் வழியாகச் செல்வதுமான தளத்தின் சமன்பாடு

$$hx + ky + lz = 0 \qquad \ldots \qquad (10)$$

5. கூட்டுப்படிகங்களும் மண்டலங்களும்
(Composite Crystals and Zones)

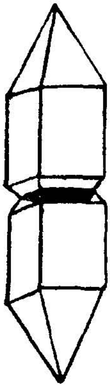
படிகங்கள் படிகக் கரைசலிலிருந்து வளரும்பொழுது முழுப் படிகமாக அநேகமாக வளர்வதில்லை. பல தொகுதிகளாக, ஒரு தொகுதிக்கும், மற்றொரு தொகுதிக்கும் சம்மந்தமில்லாமல் வளரும். அபூர்வமாக இரண்டு தொகுதிகளின் ஒத்த பக்கங்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒற்றுமையுடையதாக இருக்கும். அம்மாதிரிப் படிகங்கள் ஒரு போக்கு வளர்ச்சியுடைய படிகங்கள் (parallel growth) என வழங்கப்படுகின்றன. எடுத்துக்காட்டாகப் பொட்டாஷியம் ஆலம் (Potassium alum—$KAl(SO_4)_2\ 12H_2O$) என்னும் படிகம் ஒரு போக்குப் படிகமாக வளர்கிறது. இந்தப் படிகத்தின் படம் படம் 33-ல் வரையப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 33.
பொட்டாசியம் ஆலம் — ஒரு போக்குப் படிகம்

வளைந்த படிகங்கள் (Twisted crystals)

படிகங்கள் கரைசலிலிருந்து வளரும்போது வளைந்து காணப்படும். இதற்குச் சரியான காரணம் இது வரையில் கண்டுபிடிக்கவில்லை. படிகக் கரைசலில் வேறு ஏதாவது அந்நியப் பொருள்கள் (Froeign matter) இருப்பதால் இவ்வாறு வளரலாம். கரைசலின் தட்ப வெப்ப நிலை மாறுவதாலும் இது நடைபெறலாம் என ஊகிக்கப்படுகிறது.



படம் 34.
இரட்டைப் படிகம்

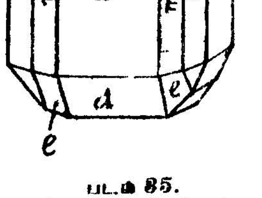
இரட்டைப் படிகங்கள் (Twins)

படிகங்கள் கரைசலிலிருந்து வளரும்பொழுது முழுப்படிகமாக வளர்வதில்லை என்றும், பல தொகுப்புகளாக ஒன்றினுள் மற்றொன்று வளர்ந்து காணப்படும் எனவும் பார்த்தோம். ஒரு படிகத்தின் மேல் மற்றொரு படிகம் ஒழுங்காக வளர்ந்து காணப்படுவதற்கு இரட்டைப் படிகங்கள் எனப் பெயர். படம் 34. ஒரு வகையான இரட்டைப் படிகத்தைக் குறிக்கிறது.

இதில் ஒன்று மற்றொன்றின் பிம்பமாக அமைகிறது. மேற் கண்ட இரட்டைப் படிகத்தில் இரண்டு படிகங்களும் சேர்கின்ற தளத்தைத் தவிர, மற்ற இடங்களில் அவை இரண்டும் தனித் தனியாகவே இருக்கின்றன. இரண்டு படிகங்களும் சேர்கின்ற தளத்திற்குச் சேர்க்கைத் தளம் (Composition plane) எனப் பெயர். சில இரட்டைப் படிகங்களில் ஒன்றினுள் மற்றொன்று வளர்வதால், அவை ஒரே படிகமாகத் தோற்றமளிக்கும். கலாமின் (Calamine $H_2 Zn_2 SiO_5$) இரட்டைப் படிகம் படம் - 34-ல் காட்டப்பட்டிருக் கிறது. படத்தைப் பார்த்த நிமித்தத்தில் அது ஒரே படிகமாகக் காட்சியளிக்கிறது. ஆனால் இது இரட்டைப் படிகங்களாகும்.

மண்டலமும் அதன் தொடர்புகளும் (Zones and Zone relationships)

சில படிகத் தளங்கள் ஒன்றையொன்று ஒரு கோட்டினூடேயோ அல்லது ஒரு போக்குக் கோடுகளினூடேயோ சந்திக்கும். உதாரணமாக அறுகோணப் படிகத்தில் (Hexagonal crystal), உயர்ப்பக்கங்கள் (vertical sides) ஒன்றையொன்று Z - அச்சுக்கு ஒரு போக்காக உள்ள கோடுகளினூடே வெட்டிக்கொள்கின்றன. இம்மாதிரியான தளங்களுக்கு மண்டலத் தளங்கள் (Planes of a zone) எனப் பெயர். இவை வெட்டிக் கொள்கின்ற திசைக்கு மண்டல அச்சு (Zone axis) எனப் பெயர். படிகத்தின் புறப் பரப்பில் மேற்சொன்ன மண்டலத் தளங்கள் பட்டைபோல (belt like) அமைந்து காணப்படுகின்றன. ஸ்கேல் பொறித்த (graduated scale) கோணியோ மீட்டரில், கோணியோ மீட்டரின் அச்சுக்கு ஒரே போக்காக படிகத்தின் மண்டல அச்சு இருக்குமாறு படிகத்தைக் கோணியோ மீட்டரில் வைத்தால், படிகத் தின் மண்டலத் தளங்களுக்கு இடையி லுள்ள கோணத்தை அளக்கலாம்.



படம் 35.
கிரைஸோ லைட்டின்
மண்டலத் தளங்கள்

கீழேயுள்ள படத்தில் க்ரைஸோலைட் (Chrysolite) என்னும் படிகத்தின் மண்ட லத் தளங்கள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன.

c d, a, d என்று குறியிட்ட பக்கங் கள் அனைத்தும் ஒரு மண்டலத்தைச் சேர்ந் தவை. இதேபோல் *s, m, a, m, s, b* என்னும் பக்கங்கள் மற்றுமொரு மண்ட லத்தைச் சேர்ந்தவை. *c, h, k, b* முதலியன வேறொரு மண்டலத்தைச் சேர்ந்தவை.

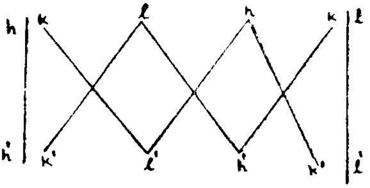
மண்டல அச்சின் திசையை [u, v, w] என்ற அடையாளத்தால் குறிப்பிடுவது வழக்கம். [h, k, l], [$h'\ k'\ l'$] என்ற மில்லர் காட்டிகளைக் கொண்ட இரு தளங்களிலிருந்து மேற்சொன்ன திசையை அறியலாம்.

$$u = k l - l k'$$

$$v = l h' - h l'$$

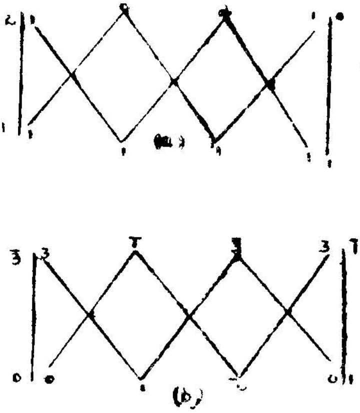
$$w = h k' - k h'$$

இதிலிருந்து [h, k, o] என்ற காட்டிகளுடைய தளங்கள் அனைத்தும், [001] என்னும் மண்டலத்தைச் சேர்ந்தவை என்றும், [$h\ o\ l$] என்ற காட்டிகளுடைய தளங்கள் அனைத்தும், [010] என்னும் மண்டலத்தைச் சேர்ந்தவை என்றும், [$o\ h\ l$] என்ற காட்டிகளுடைய தளங்கள் அனைத்தும், [100] என்னும் மண்டலத்தைச் சார்ந்தவை என்றும் தெரிகிறது.



படம் 36. மண்டலக் காட்டிகள்

கனசதுரத்தில், மண்டலக் காட்டிகள் u, v, w என்பவை மண்டல அச்சிற்குச் செங்குத்தான தளத்தின் மில்லர் காட்டிகளுக்குச் சமம். [$h\ k\ l$], [$h'\ k'\ l'$] என்னும் இரண்டு தளங்களின் மில்லர் காட்டிகளிலிருந்து மண்டலக் காட்டிகள் பின்வரும் முறையில் எழுதப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக [210], [110] என்ற மில்லர் காட்டிகளை உடைய இரு தளங்களின் மண்டலங்கள் படம் 37(a)-ல் காட்டியபடி கணக்கிடப்படுகிறது. இதுபோல் [$3\ 3\ \bar{1}$], [001] என்ற மில்லர் காட்டிகளை உடைய தளங்களின் மண்டலங்கள் படம் 37(b)-ல் காட்டியபடி கணக்கிடப்படுகிறது.



படம் 37. இரு குறிப்பிட்ட தளங்களின் மண்டலக் காட்டிகள்

(a) $[hkl] = (210],\ [h'k'l'] = [111]$

$u = 1 - 0 = 1,\ v = 0 - 2 = \bar{2},\ w = 2 - 1 = 1$

மண்டலக் காட்டிகள் $= [uvw] = [1\ \bar{2}\ 1]$

(b) $[hkl] = [333],\ [h'k'l'] = [0\ 0\ 1]$

$u = 3 - 0 = 3,\ v = 0 + 3 = 3,\ w = 0 - 0 = 0$

$[uvw] = [3\ 3\ 0] = [110]$

இங்கு இரு தளங்களின் மில்லர் காட்டிகளிலிருந்து மண்டலக் காட்டிகள் கணக்கிடப்பட்டன. இதுபோல் இரு தளங்களுக்குரிய மண்டலக் காட்டிகள் தெரிந்தால் அதிலிருந்து மில்லர் காட்டிகளை மேற்கண்ட முறையில் கணக்கிட்டு எழுதலாம்.

ஒரே மண்டலத்தில் இருக்கும் இரண்டு மூன்று பக்கங்களுக்குள் உள்ள மற்றொரு ஒற்றுமையைப் பார்ப்போம். ஒரே மண்டலத்திலுள்ள இரண்டு பக்கங்களின் காட்டிகளைக் கூட்டிக் கிடைப்பது அதே மண்டலத்தில் இந்த இரண்டு பக்கங்களுக்கு இடையிலுள்ள மற்றொரு பக்கத்தின் காட்டியாகும்.

உதாரணமாகப் படம் 37(a)-ல்

$d = [101],\ e = [111],\ f = [121]$

என்பவை ஒரே மண்டலத்திலுள்ள மூன்று பக்கங்களின் காட்டிகள். படத்தில் e என்பது d-க்கும், f-க்கும் இடையில் உள்ளது. ஆகையால் d, f ஆகியவற்றின் காட்டிகளைக் கூட்டி e-ன் காட்டிகளைப் பெறலாம்.

$$\begin{array}{rr} d = & 1\ 0\ 1 \\ f = & 1\ 2\ 1 \\ \hline & 2\ 2\ 2 \\ \hline \end{array}$$

சுருக்கமாக [1 1 1]. இதுவே e-ன்காட்டியாகும்.

ஒரே மண்டலத்திலுள்ள ஒவ்வொரு பக்கமும் மண்டலச் சமன்பாட்டில் (Zonal equation) பொருந்துமாறு இருக்கவேண்டும். $[h\ k\ l]$ என்ற காட்டிகளுடைய பக்கம், $[u\ v\ w]$ என்ற மண்டலத்தில் இருந்தால்,

$hu + kv + lw = 0$ ஆகும்:

எடுத்துக்காட்டாக $[\bar{2}11]$ என்ற காட்டிகளுடைய பக்கம் $[5\ \bar{2}\ 8]$ என்ற மண்டலத்தைச் சார்ந்ததா என்பதைக் காண்போம்.

$$hu + kv + lw = (-2 \times 5) + (-1 \times -2) + (1 \times 8)$$

$$hu + kv + lw = -10 + 2 + 8 = 0$$

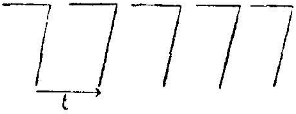
ஆகையால் $[\bar{2}\ 1\ 1]$ என்ற காட்டிகளுடைய பக்கம் $[5\ \bar{2}\ 8]$ என்ற மண்டலத்தைச் சார்ந்தது. இம்முறையில் ஒரு பக்கம் அல்லது ஒரு தளம் குறிப்பிட்ட மண்டலத்தைச் சார்ந்ததா எனச் சுலபமாகச் சொல்லிவிடலாம்.

6. இட அணிக் கோவை

(Space Lattice)

படிகத்தின் வெளித்தோற்றம், சமச்சீர் இவற்றைக் கொண்டு, படிகம் அதனுள்ளும் ஓர் ஒழுங்கான அமைப்பைப் பெற்றிருக்க வேண்டும் எனப் படிகவியலாளர்கள் கருதினார்கள். பதினெட்டாவது நூற்றாண்டில் பாரிஸ் பல்கலைக் கழகத்தில் ஹாய் என்ற பேராசிரியர் கால்சைட் (Calcite) படிகத்தைச் சிறு சிறு துண்டுகளாக உடைத்துக் கொண்டே போனார். இறுதியில் கிடைத்த அப் படிகத்தின் மிகச் சிறிய துண்டும், உடைப்பதற்கு முன் இருந்த படிகத்தின் அமைப்பையே பெற்றிருந்ததைக் கண்டார்.

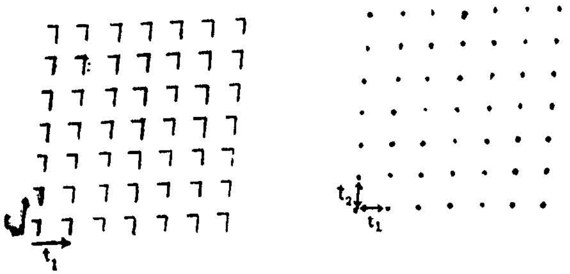
படிகத்தில் அணுக்களின் அமைப்பிற்கும், படிகமற்ற பிற பொருள்களில் அணுக்களின் அமைப்பிற்கும் சற்று வேறுபாடு உண்டு. படிகத்தில் எல்லா அணுக்களும் குறிப்பிட்ட இடைவெளி தூரத்தில் மூன்று திசைகளிலும் (x, y, z என்ற மூன்று அச்சுகளின் திசைகள்) வரிசைப் படுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. படம் 38-ல், 7-என அடையாளமிட்ட ஒரு பொருள் t என்ற இடைவெளி தூரத்தில் வரிசைப் படுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இவ்வாறு குறிப்பிட்ட இடைவெளி தூரத்தில் வரிசைப் படுத்துவதற்கு "மடக்கு நிலையுள்ள வரிசை" (periodic) எனப் பெயர்.



படம் 38.
மடக்கு நிலை வரிசை

மேற்சொன்ன 7 என்ற அடையாளமிட்ட பொருள் முடிவில்லாத (infinitely) அளவிற்கு வரிசைப் படுத்தி யிருப்பதாகக் கொள்வோம். இதேபோல் மற்றொரு திசையிலும் (முந்தைய திசைக்குச் செங்குத்தான திசையில்), 7 என்ற பொருள் t_2 என்ற இடைவெளி தூரத்தில் வரிசைப் படுத்தியிருப்பதாகக் கொள்வோம். இவ்வாறு வரிசைப்படுத்தப்பட்டிருக்கும் விதத்திற்கு 7 என்ற பொருளின் இரு பரிமாண வரிசை (two dimensional array) எனப் பெயர். எந்தப் பொருள்களையும் மேற்சொன்னபடி t_1, t_2 என்ற இடைவெளி தூரங்களில் படத்தில் காட்டியபடி வரிசைப்படுத்த

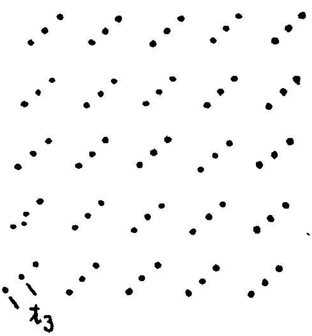
முடியும். இரு பரிமாண வரிசையை 7 என்ற பொருளால் காட்டு வதற்குப்பதில், புள்ளிகள் மூலம் காட்ட முடியும். இப் புள்ளிகளின்



படம் 39. இரு பரிமாண அணிக்கோவை

தொகுப்பிற்கு (collection of points) அணிக்கோவை (lattice) எனப் பெயர். இந்த அணிக்கோவை இரு பரிமாண அணிக் கோவையாகும் (two dimensional lattice).

மேற்சொன்ன இரு திசைகளுக்கும் செங்குத்தான மூன்றுவது திசையில் t_3 என்ற இடைவெளி தூரத்தில் புள்ளிகளை வரிசைப் படுத்தமுடியும். ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான மூன்று திசை களிலும் முறையே t_1, t_2 t_3 என்ற இடைவெளி தூரத்தில் புள்ளிகள் வரிசைப்படுத்தப் பட்டிருக்கின்றன. புள்ளிகளின் இத் தொகுப்பிற்கு முப்பரிமாண அணிக்கோவை (three dimensional lattice) எனப் பெயர் மேற்குறிப்பிட்ட புள்ளிகள், படிகங்களில் அணுக்களின் இடத்தையோ, அல்லது மூலக் கூறுகளின் இடத்தையோ அல்லது பல அணுக்கள் சேர்ந்த தொகுப்பின் மையத்தையோ குறிக்கின்றன. இட அணிக்கோவை என்பது முப்பரிமாண அணிக் கோவைக்கு மற்றொரு பெயர்.



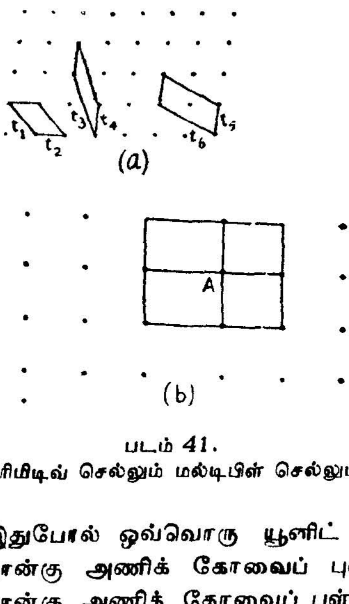
படம் 40.
முப்பரிமாண அணிக்கோவை

வடிவ கணிதப்படி சூழ் அணிக் கோவை என்பது, முடிவில்லாத, ஒழுங்கான, முழுவதும் ஒத்த புள்ளிகளை, முப்பரிமாண வெளியில் பங்கிடுவதற்குப் பெயர். இட அணிக் கோவையில் ஒரு புள்ளியைச் சுற்றியிருக்கும் சூழ்நிலையே (environment) மற்ற புள்ளிகளையும் சுற்றியிருக்கும். இதுவே இட அணிக் கோவையின் சிறப்பியலாகும்.

யூனிட் செல் (Unit Cell)

இரு பரிமாணத்தில் t_1, t_2 என்ற இடைவெளி தூரங்களில் புள்ளிகளை வரிசைப் படுத்துவதற்குத் தள அணிக்கோவை (plane lattice) அல்லது இரு பரிமாண அணிக்கோவை என்றும்; t_1, t_2, t_3 என்ற இடைவெளி தூரங்களில் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தான திசைகளில் முப்பரிமாணத்தில் வரிசைப் படுத்துவதற்கு முப்பரிமாண அணிக்கோவை என்றும் வழங்கப்படுகிறது எனப் பார்த்தோம் தள அணிக் கோவையிலோ அல்லது முப்பரிமாண அணிக் கோவையிலோ படம் 41-ல் காட்டியபடி அடுத்தடுத்த புள்ளிகளைச் சேர்த்தால் கிடைக்கும் வடிவத்திற்கு யூனிட் செல் எனப் பெயர்.

படிகம் முழுவதும் மேற்சொன்ன யூனிட் செல்களால் ஆக்கப் பட்டிருக்கிறது. படம் 41(a)-ல் $t_1 t_2$ அல்லது $t_3 t_4$ என்று குறிகளிடப் பட்ட யூனிட் செல்களுக்கு "பிரிமிடிவ் செல்கள்" (primitive cells) எனப் பெயர். பிரிமிடிவ் செல்களில் உள்ள ஏதாவது ஓர் அணிக் கோவைப் புள்ளியை (lattice point) எடுத்துக்கொண்டால் அது மற்ற மூன்று செல்களுக்கும் பொதுவானதாக அமையும். அதாவது ஓர் அணிக்கோவைப் புள்ளி வழியாக யூனிட் நான்கு செல்களை வரையலாம். படம் 41(b)-ல் A என்ற அணிக் கோவைப் புள்ளி வழியாக நான்கு யூனிட் செல்கள் வரையப்பட்டிருக்கின்றன. ஆகையால் ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லும் A-என்ற அணிக்கோவைப் புள்ளியில் கால் பங்கைப் ($\frac{1}{4}$) பெறுகிறது.



படம் 41.
பிரிமிடிவ் செல்லும் மல்டிபிள் செல்லும்

இதுபோல் ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லும், நான்கு முனைகளிலும், நான்கு அணிக் கோவைப் புள்ளிகளைப் பெற்றிருக்கும். இந்த நான்கு அணிக் கோவைப் புள்ளிகள் ஒவ்வொன்றின் வழியாகவும் தனித்தனியாக நான்கு யூனிட் செல்கள் வரையப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு அணிக்கோவைப் புள்ளியும் ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லுக்கு கால் பங்கைக் ($\frac{1}{4}$) கொடுக்கிறது. ஆகையால், ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லும் மொத்தத்தில் ($4 \times \frac{1}{4} = 1$) பொதுவாக ஒரே ஓர் அணிக்கோவைப் புள்ளியைப் பெறுகிறது. இம்மாதிரியான செல்லுக்கு பிரிமிடிவ் செல் எனப் பெயர். அதாவது எந்த ஒரு செல்லும் மொத்தத்தில் ஓர் அணிக் கோவைப் புள்ளியைப் பெற்றால் அந்தச் செல்லிற்குப் பிரிமிடிவ் செல் எனப் பெயர்.

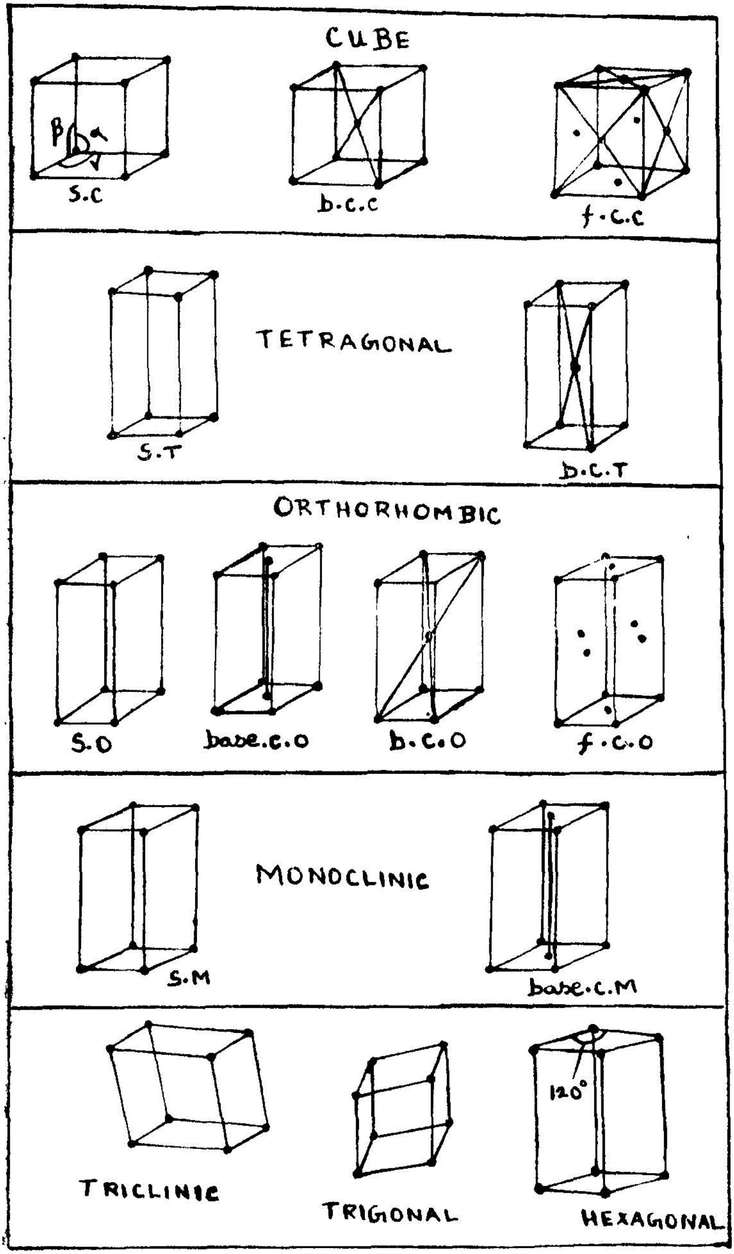
மாருக, படம் 41(a)-ல், t_5 t_6 என்று குறியிட்டுள்ள யூனிட் செல்லைக் கவனிப்போம். இந்த செல் நான்கு மூலைகளிலும் நான்கு அணிக் கோவைப் புள்ளிகளைப் பெறுவதுடன், மத்தியில் ஓர் அணிக் கோவைப் புள்ளியைப் பெறுகிறது. இம்மாதிரியான செல்லிற்கு "மல்டிபிள் செல்" (multiple cell or non-primitive cell) எனப் பெயர்.

பதினான்கு வகையான பிரோவைஸ் அணிக் கோவைகள் (Fourteen Bravais lattices)

படிக இயலமைப்பை விவரிப்பதற்கு இட அணிக்கோவை பயன் படுத்தப்பட்டது. பிரோவைஸ் என்பவர் 1848-ல் முதன் முறையாகப் பதினான்கு இட அணிக் கோவைகள் இருப்பதைக் கண்டறிந்தார்.

கனசதுர வடிவமான படிகத்தை, முப்பரிமாணத்தில், தொடர்ந்து அடுத்து அடுத்து வைத்துக்கொண்டே போனால் கனசதுர இட அணிக் கோவையைப் பெறலாம். (cubic space lattices). இதைத் தவிர, மற்றொரு கன சதுரத்தை, கன சதுர உருவத்தின் மத்தியில் ஓர் அணிக் கோவைப் புள்ளி யிருக்குமாறு தேர்ந்தெடுத்து, அதை அடுத்து அடுத்து அடுக்கிக் கொண்டே போனால் மற்றோர் இட அணிக்கோவையைப் பெறலாம். இதற்கு உருவமைய கனசதுரப் படிகம் எனப் பெயர் (body centred cubic crystal). மூன்றாவதாகக் கனசதுரத்தின் எட்டு மூலைகளிலும். எட்டு அணிக் கோவைப் புள்ளிகளைப் பெறுவதுடன், ஒவ்வொரு முகத்தின் மத்தியிலும ஒவ்வோர் அணிக்கோவைப் புள்ளி யிருந்தால் அதற்கு பக்க மையங் கொண்ட (Face centred) கனசதுரம் எனப் பெயர். மேற்கூறியவற்றிலிருந்து கனசதுரத்தில் அணுக்கள் பின்வரும் மூன்று வகைகளில் இருக்கலாம் (1) சாதாரண கனசதுரம்; (2) உருவமைய கன சதுரம்; (3) பக்கமையங் கொண்ட கன சதுரம். பிரோவைஸின் பதினான்கு வகையான இடை அணிக் கோவைகளும் படம் 42-ல் காட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த 14 வகையான இட அணிக் கோவைகளும் முன் குறிப்பிட்ட ஏழு வகையான படிகங்களுக்குள் அடங்கும். இவை அனைத்தும் அட்டவணை 1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

உலோகப் படிகங்கள் (metallic crystals) பொறியியற் துறையில் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப் படுகின்றன. பெரும்பாலான உலோகங்களின் இயலமைப்புகள் பின்வரும் வகைகளில் ஏதேனும் ஒரு வகையைப் பெற்றதாயிருக்கிறது:



படம் 42.
ப்ரொவைஸின் பதினான்கு வகையான இட அணிக் கோவைகள்

(1) உருவ மைய கனசதுரப்படிகம் (Body centred cubic lattice): இதில் ஒவ்வோர் அணுவைச் சுற்றிலும் எட்டு அணுக்கள் சமதூரத்தில் உள்ளன.

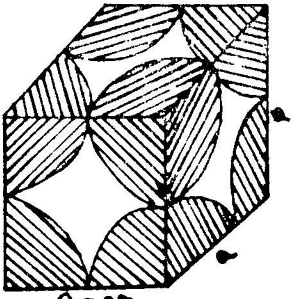
(2) பக்க மைய கனசதுரப் படிகம் (Face centred cubic lattice): இதில் ஒவ்வோர் அணுவைச் சுற்றிலும் பன்னிரண்டு அணுக்கள் உள்ளன.

(3) மிகவும் நெருக்கமான அறுகோண அணிக்கோவை (Hexagonal close packed lattice): இதிலும் ஒவ்வோர் அணுவைச் சுற்றிலும் பன்னிரண்டு அணுக்கள் உள்ளன.

சாதாரண கனசதுரம் (Simple cube)

சாதாரண கனசதுரபடிகத்தின் யூனிட்செல்லில் அணுக்கள் செல்லின் மூலைகளில் மட்டுமே உள்ளன. அவை கனசதுரத்தின் விளிம்புகளினூடே ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கின்றன, ஒவ்வோர் அணுவைச் சுற்றிலும் ஆறு அணுக்கள் உள்ளன. இதில் ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லும் ஒரே ஓர் அணுவைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால் இந்த யூனிட் செல்லுக்குப் பிரிமிடிவ் செல் எனப் பெயர். பொலோனியம் (Polonium) என்னும் தனிமம் இந்தப் படிக இயலமைப்பைப் பெற்றிருக்கிறது,

கனசதுரபடிகத்தின் இயலமைப்பில் பக்கங்கள் (sides) எல்லாம் சமமாயிருக்கின்றன. பக்கங்களின் அளவுகளை a எனக் குறிப்பிடுவோம். இத்தகைய அமைப்பில் ஒரு செல்லின் மையம் எவ்விதமான சூழ்நிலையைப் பெற்றிருக்கிறதோ அதேபோல்தான் இப் படிகத்தின் மற்ற யூனிட் செல்களின் மையங்களும் பெற்றிருக்கின்றன. படம் 43-ல் காட்டியுள்ள சாதாரண யூனிட்செல் மொத்தத்தில் ஒரே ஓர் அணுவைப் பெற்றிருக்கிறது. ஒவ்வோர் அணுவும் அதைச் சுற்றி ஆறு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால் இதனுடைய "ஆய எண்" (Co-ordination number) ஆறாகும். அணுவின் ஆரம் 'r' எனவும் கனசதுரத்தின் பக்கம் 'a' எனவும் கொள்வோம்.



படம் 43 கனசதுரத்தின் யூனிட் செல்

அட்டவணை 4.

அணிக்கோவைகளின் மொத்த எண்ணிக்கை

	வகைகள்	யூனிட்செல்லின் குணங்கள்	பிரோவைஸின் அணிக் கோவைகள்	அணிக்கோவைகளின் எண்ணிக்கை
(1)	கனசதுரம்	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P I F	3
(2)	டெட்ராகொனல்	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P C	2
(3)	மானோகிளினிக்	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta = 90^\circ \neq \gamma$	P C	2
(4)	ஆர்த்தோராம்பிக்	$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	P C I F	4
(5)	டிரைகிளினிக்	$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	P	1
(6)	ஹெக்ஸோகொனல்	$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ\ \gamma = 20^\circ$	P	1

(7)	ராம்போஹெட்ரல்	$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90°$	p	i

அணிக்கோவைக் குறிகளின் விளக்கங்கள்

P-பிரிமிடிவ்-எட்டு மூலைகளில் அணுக்களை உடையது.

C-அடிவாய் மையம் (Base centred)—எட்டு மூலைகளிலும், அடிவாய் தளத்தின் மத்தியிலும் அணுக்களை உடையது.

I-உருவமையம் (Body centred)—எட்டு மூலைகளிலும், உருவத்தின் மையத்திலும் அணுக்களை உடையது.

F-பக்கமையம் (Face centred) எட்டுமூலைகளிலும், பக்கங்களின் மத்தியிலும் அணுக்களை உடையது.

படிகத்தின் பொதிவுக் கூற்றெண் (*Packing factor of the crystal*) = $\dfrac{\text{யூனிட் செல்லின் அணுக்களின் மொத்த கன அளவு}}{\text{யூனிட் செல்லின் கன அளவு}}$

அதாவது

$$\text{பொதிவுக் கூற்றெண்} = \frac{v}{V}$$

$$= \frac{1 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3}$$

$$= \left(\frac{4}{3}\right)\frac{\pi r^3}{(2r)^3}$$

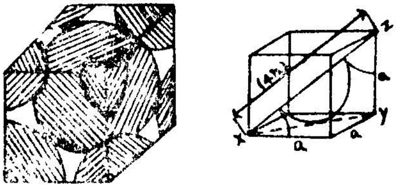
$$= \frac{\pi}{6}$$

$$= 0{\cdot}52$$

$$= 52\%$$

உருவ மைய கனசதுர இயலமைப்பு (Body centred cubic structure)

இரும்பு, கனசதுர இயலமைப்பைப் பெற்றிருக்கிறது சாதாரண வெப்பநிலையில் இரும்பின் யூனிட் செல் அதனுடைய ஒவ்வொரு



படம் 44 உருவமைய கனசதுரம்

மூலைகளிலும் ஒவ்வோர் அணுவைப் பெற்றிருப்பதோடு, உருவ மையத்திலும் ஓர் அணுவைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால் இந்த இயலமைப்பிற்கு உருவ மைய கனசதுர இயலமைப்பு எனப் பெயர்.

உருவ மைய கனசதுர இயலமைப்பைப் படம் 44-ல் காணலாம். இங்கு ஒவ்வோர் அணுவும் அதைச் சுற்றி எட்டு அணுக்களைப்

பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால், உருவ மைய இயலமைப்புடைய படிகத்தினுடைய ஆய எண் எட்டாகும். யூனிட் செல் ஒவ்வொன்றும் மொத்தத்தில் இரண்டு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. படிக உருவத்தின் மத்தியில் ஓர் அணுவும், படிகத்தின் மூலைகளில் உள்ள அணுக்கள் எல்லாம் சேர்ந்து மொத்தத்தில் ஓர் அணுவும், ஆக இரண்டு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால், இந்த யூனிட் செல்லைப் பிரிமிடிவ் செல் என வழங்க இயலாது.

$$(XY)^2 = a^2 + a^2$$

$$(XZ)^2 = (xy)^2 + a^2$$

$$(4r)^2 = 2a^2 + a^2$$

$$(16r)^2 = 3a^2$$

$$a = \frac{4r}{\sqrt{3}}$$

யூனிட் செல்லில் உள்ள மொத்த அணுக்கள் $= 1 + \frac{8}{8} = 2$

படிகத்தின் பொதிவுக் கூற்றெண் $= \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3}$

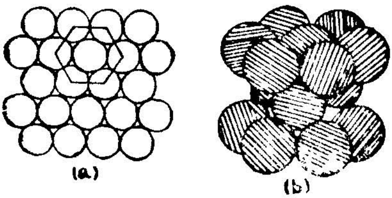
$$= \frac{8\pi r^3 \, 3\sqrt{3}}{3 \times 64 \times r^3}$$

$$= 0{\cdot}68$$

$$= 68\%$$

நெருக்கமான பொதிவு (Closest packing)

குறிப்பிட்ட இடத்தில் ஒரே அளவுடைய பொருள்களைக்



படம் 45. நெருக்கமான பொதிவு

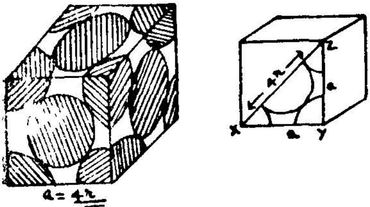
குறைந்த இடைவெளியுடன் நெருக்கமாக அடைத்தலுக்கு, நெருக்க

மான பதிவு எனப் பெயர். படம் 45-ல் ஒரே மாதிரியான கோளங்கள் (spheres), இரு பரிமாணத்திலும் முப்பரிமாணத்திலும் மேற்குறிப்பிட்டபடி நெருக்கமாக அடைத்து வைத்து இருப்பதைக் காணலாம் நெருக்கமான பொதிவுடைய படிகங்கள் பக்க மையமுள்ள கனசதுர படிகம் (face centred cubic structure), நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங் கோணப் படிகம் (hexagonal close packed crystal) என இருவகைப்படும்.

(a) பக்கமைய கனசதுர இயலமைப்பு (Face centred cubic structure)

செம்பு என்ற உலோகம் பக்க மைய கனசதுர இயலமைப்பைப் பெற்றிருக்கிறது. செம்பின் யூனிட் செல்லில் உள்ள அணுக்களின் இருப்பிடத்திற்கும், முன்னால் குறிப்பிட்ட இரும்பின் யூனிட் செல்லில் உள்ள அணுக்களின் இருப்பிடத்திற்கும் வேறுபாடு உண்டு. செம்பின் யூனிட் செல்லில் ஒவ்வொரு மூலைகளிலும் அணுக்கள் அமைந்திருப்பதோடு, இந்த யூனிட் செல்லின் ஒவ்வொரு பக்கத்தின் மையத்திலும் அணுக்கள் இருக்கின்றன. ஆனால், படிக உருவத்தின் மத்தியில் அணுக்கள் இல்லை. இந்தப் படிக இயலமைப்பு நெருக்கமான பொதிவுடையதாயிருக்கிறது.

இதில் ஒவ்வோர் அணுவும் தன்னைச் சுற்றி 12 அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. ஆகையால், இதனுடைய ஆய எண் (co-ordination number) பன்னிரெண்டாகும். ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லும் நான்கு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. யூனிட் செல்லின் எட்டு மூலைகளில் உள்ள அணுக்கள் எல்லாம் சேர்ந்து ஓர் அணுவையும், ஆறு பக்கங்களின் மத்தியில் உள்ள அணுக்கள் எல்லாம் சேர்ந்து மூன்று அணுக்களையும் ஆக மொத்தம் நான்கு அணுக்களை இந்த யூனிட் செல் பெற்றிருக்கிறது.



$a = \frac{4r}{\sqrt{2}}$

படம் 46. பக்க மைய கனசதுரம்

யூனிட் செல்லில் உள்ள மொத்த அணுக்கள்

$$= \frac{8}{8} + \frac{6}{2} = 4$$

அணுவின் பொதிவுக் கூற்றெண் $= \frac{v}{V} = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{a^3}$

$$= \frac{16 \pi r^3 (\sqrt{2})^3}{3 (4r)^3}$$

$$= \frac{16 \pi r^3 \, 2\sqrt{2}}{3 \times 64 \times r^3}$$

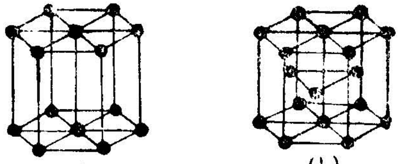
$$= 0{\cdot}74$$

$$= 74\%$$

பக்க மையமுள்ள கனசதுர இயலமைப்புதான் அதிகமான பொதிவுக் கூற்றெண்ணைப் பெற்றிருக்கிறது. ஏராளமான உலோகங்கள் இந்த இயலமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன. உதாரணமாக, செம்பு, (copper), அலுமினியம் (aluminium), ஈயம் (lead), வெள்ளி (silver) தங்கம் (gold) போன்ற உலோகப் படிகங்கள் இந்த இயலமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன.

(2) நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோணப் படிகம் (Hexagonal close packed crystal)

சாதாரண அறுங்கோண இயலமைப்பைப் படம் 47(a)-ல் காணலாம். இப் படத்தில் ஒரு யூனிட் செல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதனுடைய கன அளவு அதிகமாக இருந்தாலும், இந்த யூனிட்



படம் 47. (a) சாதாரண அறுங்கோணம் (b) நெருக்கமான அறுங்கோணம்

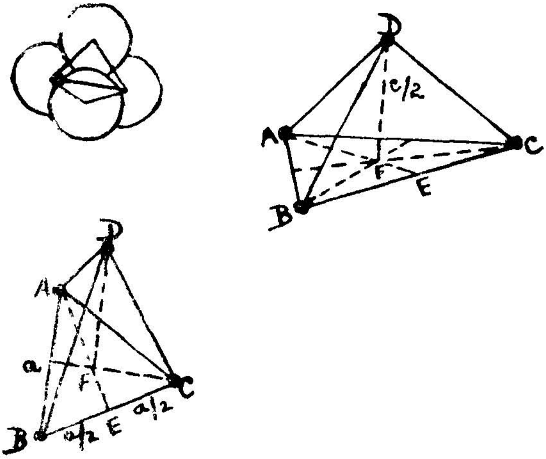
செல் மூன்று அணுக்களை மட்டும் பெற்றிருக்கிறது. இதனுடைய பொதிவுக் கூற்றெண் (packing factor)ணின் மதிப்பு மிகவும் குறைவு. ஆகையால், உலோகங்கள் சாதாரண அறுங்கோண வடிவத்தில் படிகமாவதில்லை. எனவே, உலோகங்கள், படம் 47(b)-ல் காட்டிய படி நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்பைப் பெற்றிருக்கின்றன.

மக்னீசியம் (magnesium) என்ற உலோகத்தின் அறுங்கோண இயலமைப்புப் படம் 47(a)-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் சாதாரண அறுங்கோண இயலமைப்பைவிட மிகவும் அடர்த்தியாக இருக்கிறது.

இதனால் இந்த இயலமைப்பிற்கு, நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்பு எனப் பெயர். இம்மாதிரி இயலமைப்பை உடைய படிகங்களின் ஆய எண் பன்னிரண்டாகும்.

நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்புடைய படிகங்களின் c/a விகிதம்

படத்தில் காட்டியபடி அடித்தளத்தில் உள்ள மூன்று அணுக்களும் நடுத்தளத்தில் உள்ள ஓர் அணுவும் சேர்ந்து டெட்ரா



படம் 48. நெருக்கமான அறுங்கோண படத்தின் c/a விகிதத்தைக் கணக்கிடுதல்

ஹெட்ரன் (tetrahedron) என்ற ஓர் அமைப்பை உண்டாக்குகிறது. இந்த டெட்ராஹெட்ரன் என்ற அமைப்பின் அடிப் பாகம் ABC என்ற சமபக்க முக்கோணத்தைத் தருகின்றது. இந்த முக்கோணத்தின் ஒவ்வொரு பக்கமும் a என்ற அலகுடையதாக இருக்கிறது. DF என்பது டெட்ராஹெட்ரனின் குத்துக் கோடாகும் (altitude). DF-ன் நீளம் $c/2$ ஆகும். இதன் மதிப்பைப் பின்வருமாறு கணக்கிடலாம் :

AEC என்ற முக்கோணத்தில்

$$AE = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{4}} = \sqrt{\frac{3a^2}{4}}$$

$$AF = \frac{2}{3}\,AE = \frac{2}{3}\,\sqrt{3}\,\frac{a}{2} = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

$$DF = \sqrt{AD^2 - AF^2} = \sqrt{a^2 - \frac{a^2}{3}}$$

$$DF = \frac{c}{2} = \sqrt{\frac{2a^2}{3}}$$

அதாவது,

$$\frac{c^2}{4} = \frac{2a^2}{3}$$

$$\frac{c^2}{a^2} = \frac{8}{3}$$

$$\left(\frac{c}{a}\right) = \sqrt{\frac{8}{3}} = 1{\cdot}633$$

பெரும்பாலான பொருள்களின், $\frac{c}{a}$ விகிதம் 1·633 ஆக இருப்பதில்லை. ஆனால் கோல்ட், நிக்கல் போன்ற சில பொருள்களின் $\frac{c}{a}$ விகிதம் இலட்சிய மதிப்பான (ideal) 1·633ஐ ஒட்டியிருக்கிறது. கோபால்ட், நிக்கல் போன்ற பொருள்களின் $\frac{c}{a}$ விகிதம் கீழ அட்டவணையிட்டுக் காட்டப்பட்டிருக்கிறது,

அட்டவணை 5.

மூலகங்கள்	$\frac{c}{a}$ (20°C)
பெரிலியம் (Beryllium)	1·568
காட்மியம் (Cadmium)	1·886
கோபால்ட் (Cobalt)	1·628
மெக்னீசியம்	1·624
டிட்டானியம்	1·587
துத்தநாகம்	1·856

பொதிவுக் கூற்றெண் (Packing factor)

நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்புடைய படிகங்களின் பொதிவுக் கூற்றெண்ணை இப்போது கணக்கிடலாம். ஒவ்வொரு யூனிட் செல்லின் மேல் தளத்திலும் (top plane) ஏழு அணுக்கள் உள்ளன. இவற்றில், ஆறு அணுக்கள் மூலைகளிலும், ஒன்று தளத்தின் மத்தியிலும் உள்ளன. மூலையிலுள்ள அணுக்கள் ஆறு யூனிட் செல்லுடன் பகிர்ந்து கொள்கின்றன. தளத்தின் மத்தியிலுள்ள அணு இரண்டு யூனிட் செல்களுடன் பகிர்ந்து கொள்கிறது. எனவே, இந்தக் குறிப்பிட்ட செல்லின் மேல் தளத்தில் இருக்கும் மொத்த அணுக்களின் எண்ணிக்கை $1\frac{1}{2}(\frac{6}{6}+\frac{1}{2})$ ஆகும். இதுபோல் அடித் தளத்திலும் $1\frac{1}{2}$ அணுக்கள் இருக்கின்றன. செல்லின் மத்தியில் மூன்று அணுக்கள் இருக்கின்றன. எனவே, நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்புடைய படிகத்தின் யூனிட் செல்லில் மொத்தம் ஆறு அணுக்கள் உள்ளன.

யூனிட் செல்லின் கன அளவு

$$= \text{அடித்தள பரப்பளவு} \times \text{உயரம்}$$

$$= (6 \times \tfrac{1}{2} \times a \times AE)(c)$$

$$= 3 \times a \times c \times AE$$

$$= 3 \times a \times c \times \frac{\sqrt{3}}{2}\, a$$

$$= \left(\frac{3}{2}\right) \sqrt{3}\, a^2 c$$

பொதிவுக் கூற்றெண் $= \dfrac{v}{V}$

$$= \frac{6 \times (4/3)\pi r^3}{\left(\frac{3}{2}\right)\sqrt{3}\, a^2 c} = \frac{48 \times \pi r^3}{9\sqrt{3}\, a^2 c}$$

$$= \frac{48 \times \pi \times (a/2)^3}{9\sqrt{3}\, a^2 c} = \frac{48 \times \pi \times a^3}{72 \times \sqrt{3} \times a^2 c}$$

$$= \left(\frac{2}{3}\right)\left(\frac{\pi}{\sqrt{3}}\right)\left(\frac{a}{c}\right)$$

$$= \left(\frac{2}{3}\right) \frac{\pi}{\sqrt{3}} \frac{1}{1\cdot 633} = 0\cdot 74 = 74\%$$

மெக்னீசியம் (magnesium) என்னும் உலோகம் எப்பொழுதும் நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்பில் படிக மாகிறது. அலுமினியம் எப்பொழுதும் பக்கமைய இயலமைப்பை உடையதாக இருக்கிறது. வெப்பநிலை, அழுத்தம் இவை மாறு வதனால் உலோகங்களின் இயலமைப்பும் மாறுகிறது. மேற்சொன்ன படி உலோகங்களின் இயலமைப்பு மாறுவதற்கு ' தனிமாற்று அமைப்பு" (allotropy) என்று பெயர். கோபால்ட் என்னும் உலோகம் சாதாரண வெப்பநிலையில் நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோண இயலமைப்பை உடையதாக இருக்கிறது. ஆனால் அதனுடைய வெப்பநிலையிலிருந்து 477°C அதிகமானால் கோபால்ட் பக்கமைய இயல்புடைய படிகமாக மாறுகிறது. சாதாரண படிகங் களின் அணிக்கோவைகளின் சிறப்பியல்புகளை அட்டவணை 6 காட்டுகிறது.

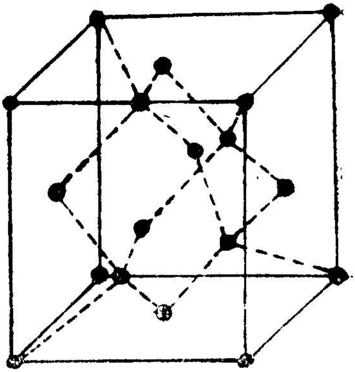
மற்றசில கனசதுர இயலமைப்புள்ள படிகங்கள்

பெரும்பாலான தனிமங்கள் மேற்சொன்ன இயலமைப்புகளில் ஏதேனும் ஒன்றின் வடிவத்தில் படிகமாகின்றன. ஆனால், சில தனிமங்கள் மேற்சொன்ன இயலமைப்புகளைத் தவிர வேறு சில புதிய இயலமைப்களைப் பெற்றிருக்கின்றன. இந்தப் புதிய இயலமைப்புகளை முன் சொன்ன இயலமைப்புகளைச் சார்ந்ததாகவோ அல்லது இரண்டு மூன்று இயலமைப்புகளின் சேர்க்கையாகவோ இருக்கும்.

(1) வைரத்தின் இயலமைப்பு (Diamond structure)

வைரத்தின் இயலமைப்பு, "இரண்டு பக்கமைய கனசதுரத் துணை அணிக்கோவைகள்". ஒன்றிற்குள் மற்றொன்று ஊடுருவி, உட்புகுந்து அதனால் அமைந்த ஒன்றாகக் காணப்படுகிறது.

இந்த இயலமைப்பின் யூனிட் செல்லின் படம் கீழே வரையப்பட் டிருக்கிறது.



படம் 49. வைரத்தின் யூனிட் செல்

இதில் ஒருதுணை அணிக்கோவை அதனுடைய தோற்றுவாயை (0, 0, 0,) என்ற புள்ளியில் பெற்றிருக்கிறது. மற்றொரு துணை அணிக்கோவை, $(a/4, a/4, a/4)$ என்ற புள்ளியில் தோற்றுவாயைப் பெற்றிருக்கிறது. வைரத்தின் கன

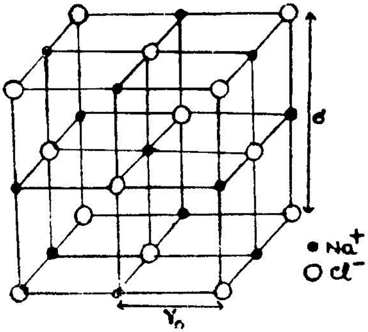
அட்டவணை 6.

	சிறப்பியல்புகள் (Properties)	சாதாரண கன சதுரம் (Simple cube)	உருவமைய கன சதுரம் (Body centred cube)	பக்க மைய கன சதுரம் (Face centred cube)	நெருக்கமான பொதிவுடைய அறுங்கோணம் (*h.c p.*)
(1)	யூனிட் செல்லின் கன அளவு (Unit cell volume)	a^3	a^3	a^3	$\left(\frac{3}{2}\right)a^2\sqrt{3}c$
(2)	ஒரு யூனிட் செல்லில் உள்ள அணுக்கள்	1	2	4	6
(3)	பக்கத்தில் சூழ்ந்திருக்கும் அணுக்களின் மொத்தம்	6	8	12	12
(4)	பொதிவுக் கூற்றெண்	0·52	0·68	0·74	0·74
(5)	எடுத்துக்காட்டுகள்	பொலோனியம்	இரும்பு, பேரியம், க்ரோமியம்	அலுமினியம், செம்பு, வெள்ளி, தங்கம்	துத்தநாகம், மெக்னீசியம்

சதுர இயலமைப்பில் ஒவ்வோர் அணுவும் அதைச் சுற்றி நான்கு அணுக்களைப் பக்கத்தில் பெற்றிருக்கின்றன. ஜெர்மேனியம் (Germanium), சிலிகான் (silicon), கரி (carbon), போன்ற தனிமங்கள் இந்த இயலமைப்பில் படிகமாகின்றன.

(2) சோடியம் குளோரைடின் இயலமைப்பு (Sodium chloride structure)

படம் 50-ல் சோடியம் குளோரைடின் யூனிட் செல்லின் இயலமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. சோடியம் குளோரைடில், சோடியம் அணு அதனுடைய வெளிக் கூட்டிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானை இழக்கிறது. அதனால் சோடியம் நேர்மின் அயனியாகிறது(positive ion). சோடியம் இழந்த எலக்ட்ரானை க்ளோரின் அணு பெற்று எதிர்மின் அயனி (negative ion) ஆகிறது. சோடியம் அயனியும், குளோரின் அயனியும் ஒன்றை ஒன்று ஈர்த்துக் கொள்கின்றன. ஆனால், அவை குறிப்பிட்ட தூரத்திற்கு மேல் ஒன்றை ஒன்று நெருங்க முடியாது. இந்த தூரத்தில் அவற்றின் ஈர்ப்பு விசையும், ஒன்றையொன்று எதிர்த்துத் தள்ளும் விசையும் சமமாக அமைகின்றன. இம் முறையில் அவை குறிபிட்ட ஆரங்களைப் பெற்றிருப்பதாகக் கருதப்படுகின்றன. சோடியம் அணுவும் யூனிட் செல் உருவத்தின் மூலைவிட்டத்தின் பாதி தூரத்தில் பிரிக்கப்படுகின்றன. ஆகையால், மேற்சொன்ன யூனிட் செல் இரண்டு கனசதுர துணை அணிக் கோவைகளைக் கொண்டதாகக் கருதப்படுகிறது. ஒன்று (0, 0, 0) என்ற தோற்றுவாயை உடையதாகவும், மற்றொன்று (a/2, 0, 0) என்ற தோற்றுவாயை உடையதாகவும் இருக்கிறது. ஒவ்வோர் அணுவைச் சுற்றிலும் ஆறு எதிர்மின்னூட்ட அணுக்கள் உள்ளன.

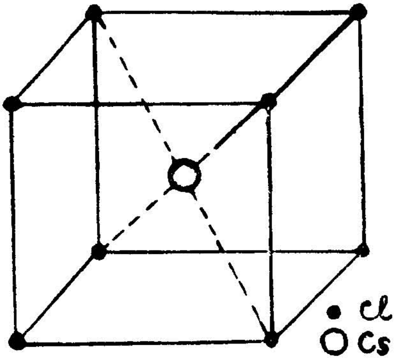


படம் 50 சோடியம் குளோரைடின் யூனிட் செல்

சோடியம், க்ளோரின் இவற்றினுடைய இருப்பிடங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரத்தைக் கருதாமல் இருந்தால் சோடியம் குளோரைடின் அணிக்கோவை ஒரு சாதாரண கனசதுரமாகும்.

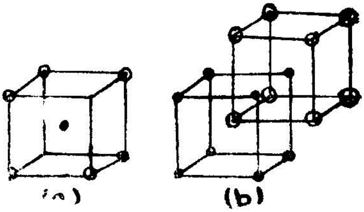
சீசியம் குளோரைடின் இயலமைப்பு (Cesium chloride structure).

படம் 51-ல் சீசியம் குளோரைடின் இயலமைப்பைக் காணலாம்.



படம் 51. சீசியம் குளோரைடின் யூனிட் செல்

இங்கு ஒரு துணை அணிக்கோவையின் மூலை (the corner of a sub-lattice) மற்றொன்றின் உருவ மையமாக அமைகிறது. இரண்டு அணிக்கோவைகளில் ஒன்று சீசியம் அயனிகளாகவும், மற்றொன்று குளோரின் அயனிகளாகவும் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன ஆகையால், சீசியம் குளோரைடின் இயலமைப்பு இரண்டு சாதாரண கனசதுர அணிக்கோவைகள் ஒன்றிற்குள் மற்றொன்று ஊடுருவி உட்புகுந்ததால் விளைந்ததாகக் காணப்படுகிறது.



படம் 51A. சீசியம் குளோரைடின் இயலமைப்பு

7. ஈவால்டின் தலைகீழ் அணிக்கோவை

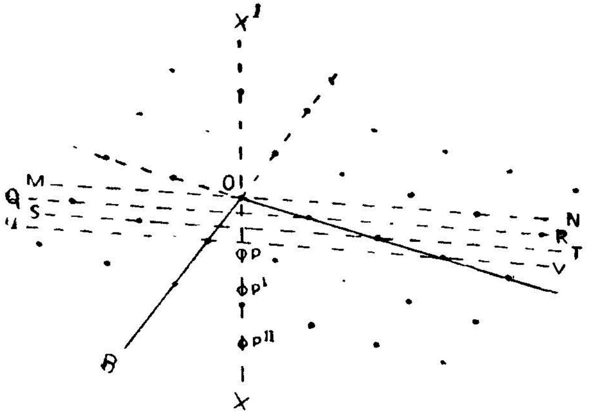
(Ewald's Reciprocal Lattice)

இரு பரிமாணத்தில் ஒரு தளத்தை அத்தளத்திற்கு வரையப்படும் செங்குத்துக் கோட்டால் குறிப்பிடுவது எளிது. இந்தச் செங்குத்துக் கோடு ஒரே பரிமாணத்தை உடையதாக இருக்கிறது. இத்தளத்தின் முகப்பு நிலையை (orientation) மேற்குறிப்பிட்ட செங்குத்துக் கோட்டின் திசை குறிப்பிடுகிறது. ஒரு தளத்தின் இடைவெளி தூரத்தின் தலைகீழ் மதிப்பு (the reciprocal of the interplaner spacing of the plane) இத் தளத்திற்கு வரையப்படும் செங்குத்துக் கோட்டிற்கு விகித சமமாக இருந்தால் (proportional) செங்குத்துக் கோட்டின் இறுதியிலுள்ள புள்ளி, தலைகீழ் அணிக்கோவையிலுள்ள புள்ளியாக அமைகிறது. பூரியர் தொடர் (Fourier series) பிரதியீடுகளைக் கொண்டு படிகத்தை ஆய்வதில், மேற்சொன்ன தலைகீழ் அணிக்கோவை மிகவும் பயன்படுகிறது. மிகவும் குறைந்த சமச்சீர் மதிப்புள்ள (low order of symmetry) படிகங்களை ஆய்வதில் தலைகீழ் அணிக்கோவை நன்கு பயன்படுகிறது. குறிப்பாக α, β, γ என்ற படிக கோணங்களில் ஒன்று 90° ஆக இல்லாமல் இருந்தால், மேற்குறிப்பிட்ட தலைகீழ் அணிக்கோவை எளிதில் பயன்படுகிறது. அதாவது, ஹெக்ஸ்ஸோகொனல், மானோகிளினிக், ட்ரைகிளினிக் போன்ற படிகங்களை ஆய்வதில் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இரு பரிமாணத்தில் தலைகீழ் அணிக்கோவையின் வரைபடம்

[*hkl*] என்ற மில்லர் காட்டிகளுடைய தளங்களை முதலில் தேர்ந்தெடுப்போம். படித்தில் OA, OB என்பது இரண்டு படிக அச்சுகளாக இருக்கட்டும், MN, QR, ST, uv என்ற தளங்களின் மில்லர் காட்டிகள் [130] ஆக இருப்பதாகக் கொள்வோம். இதில் uv என்பது தோற்றுவாய்க்குப் பக்கத்தில் உள்ள விகிதமுறுகின்ற (rational) தளமாகும். ஏனென்றால், uv என்ற இந்தத் தளம் OA, OB என்ற இரண்டு படிக அச்சுகளில் முறையே 3, 1 என்ற இரண்டு வெட்டுத் துண்டுகளை வெட்டுகிறது. $u\ v$ என்ற தளத்திற்கும் தோற்றுவாய்க்கும் இடையில் மூன்று தளங்கள் உள்ளன. அவை MN, QR, ST என்பவைகளாகும். தலைகீழ் அணிக்கோவையை

உண்டாக்குவதில் தோற்றுவாய்க்குப் பக்கத்தில் உள்ள தளமே முக்கியமானதாகும். படத்தில் QR என்பது தோற்றுவாய்க்குப்



படம் 52 தலைகீழ் அணிக்கோவையின் வரைபடம்

பக்கத்தில் உள்ள முக்கியமான தளம். (தோற்றுவாயிலிருந்து QR என்ற தளம் தளங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரமானது d_{hkl} என்பது d_{130} ஆகும்.) d_{hkl} என்பது 1·25 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகாக இருக்கட்டும். தோற்றுவாயிலிருந்துதளங்களுக்குச்செங்குத்தாக OX என்ற கோட்டை வரைவோம். படத்தில் காட்டியுள்ள XO' என்ற கோடு ($\overline{1}30$) என்ற தளங்களுக்கு வரையப்படும் செங்குத்துக்கோடு பிறகு [130] என்ற தளங்களின் தலைகீழ் மதிப்பான ρ என்பது $\frac{G^2}{d_{hkl}}$ ஆகும். இதில் G என்பதும் மாறிலி (constant). G-ன் மதிப்பை நாம் விருப்பத்திற்கு ஏற்பக் கொள்ளலாம். இங்கே G-ன் மதிப்பை 0·842 என வைத்திருக்கிறோம். d_{hkl}-ன் மதிப்பை 1·25 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகாகக் கொண்டிருக்கிறோம்.

$$\frac{G^2}{d_{hkl}} = \frac{0{\cdot}71}{1{\cdot}25} = 0{\cdot}568$$

ஆகையால் தோற்றுவாயிலிருந்து OX என்ற செங்குத்துக் கோட்டில் 0·568 தூரத்தில் ஒரு புள்ளி வைக்கப்படுகிறது. அப்புள்ளி படத்தில் P என்று குறிப்பிடப்பட்டிருக்கிறது. P என்பது தலைகீழ் அணிக் கோவையிலுள்ள ஒரு புள்ளியாகும். P என்ற புள்ளி, (130) என்ற தளங்களின் பிரிதியீடாக இருக்கிறது. விளிம்புவளைவு அமைப்பில் உள்ள புள்ளிகளோடு தலைகீழ் அணிக்கோவையிலுள்ள

புள்ளிகள் தொடர்புடையதாக இருக்க வேண்டுமானால். மேற் சொன்ன தளங்களிலிருந்து அமையும் முதல் வரிசை விளிம்பு வளை வோடு P என்ற புள்ளி தொடர்புடையது எனக் கருதவேண்டும். இங்கே இரண்டாவது வரிசை, மூன்றுவது வரிசை எதிரொளிப்புகள் [230], [390] என்ற தளங்களினுல் உண்டாகின்றன. மேற் சொன்ன தளங்களின் தலைகீழ் மதிப்பு $2P$, $3P$ ஆனுல் அவற்றைக் குறிக்கும் தலைகீழ் அணிக்கோவைப் புள்ளிகள் P' P'' ஆகும். இங்கே $OP = PP' = P'P''$ ஆகும்.

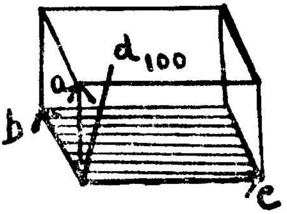
மேற்கூறியபடி எல்லா தளங்களின் தலைகீழ் அணிக்கோவைப் புள்ளிகளைக் குறித்த பிறகு, இப் புள்ளிகளெல்லாம் இரு பரிமாண அணிக்கோவையில் அடங்கியிருப்பதாக அறியப்படுகிறது இப் புள்ளிகளெல்லாம் இரு பரிமாண அணிக்கோவையில் எவ்வாறு அடங்கியுள்ளன என்பதைப் பர்கர் என்பவர் அவருடைய "எக்ஸ்ரே கிரிஸ்டலோகிராபி" என்னும் நூலில் விளக்கிக் காட்டியுள்ளார். முப்பரிமாண தலைகீழ் அணிக்கோவையின் அமைப்பை ஈவால்ட் வெக்டார் (vector) முறைப்படி கீழ்க்கண்டவாறு நிருபித்துக் காட்டி யுள்ளார்:

[hkl] என்ற தளத்திற்கு வரையப்படும் செங்குத்துக் கோட்டின் நீளம்

$$\sigma_{hkl} = \frac{G}{d_{hkl}} \qquad \ldots \qquad (1)$$

எல்லாத் தளங்களுக்கும் வரையப்படும் செங்குத்துக்கோடுகளின் இறுதியில் உள்ள புள்ளிகள் அனைத்தும், அணிக் கோவையில் அடங்கியிருப்பதாகக் காட்டவேண்டும்.

பக்கத்தில் உள்ள படத்தில் a,b,c என்பவை பிரிமிடிவ் படிக அணிக் கோவையின் (primitive crystal lattice) மூன்று அச்சுகளாகும். இந்த அணிக் கோவையின் ஒரு யூனிட் செல்லின் கன அளவு (v), படத்தில் கோடிட்டுக் குறித்துள்ள பகுதியின் பரப்பு xd_{100}. இதில் d_{100} என்பது யூனிட் செல்லின் உயரம்.



படம் 53. பிரிமிடிவ் அணிக் கோவையின் மூன்று அச்சுகள்

$$d_{100} = \frac{\text{கன அளவு}}{\text{பரப்பு}} \qquad — \qquad (2)$$

$$\frac{1}{d_{100}} = \frac{\text{பரப்பு}}{\text{கன அளவு}} \quad \ldots \quad (3)$$

வெக்டார் முறைப்படி, ஒரு தளத்திற்கு வரையப்படும் செங் குத்துக்கேடு வெக்டார் அலகு (unit veotr) $\vec{n}$ஆல் குறிக்கப்படு கிறது. ஆகையால்,

$$hkl_h = \frac{G^2}{d_{hkl}} \vec{n}$$

இங்கே G என்ற மாறிலியின் மதிப்பை ஒன்று எனக் கொள் வோம். இதன்படி

$$\sigma_{hkl} = \frac{1}{d_{hkl}} \vec{n} \quad \ldots \quad (4)$$

படத்தில் கோடிட்டுக் குறித்துள்ள பகுதியின் பரப்பை இப் பகுதிப் பக்க வெக்டார் குறுக்குப் பெருக்கல் மூலம் (vector product if its sides) குறிக்கலாம். அவை பின்வருமாறு தரப்படுகிறது :

$$\frac{1}{d_{100}} \vec{n} = \overrightarrow{\frac{b \times c}{V}} \quad \ldots \quad (5)$$

நான்காவது சமன்பாட்டையும், ஐந்தாவது சமன்பாட்டையும் சேர்த்துப் பின்வருமாறு எழுதலாம் :

$$\sigma_{100} = \frac{1}{d_{100}} \vec{n} = \frac{b \times c}{a\, b \times c} \quad \ldots \quad (6)$$

இதுபோல் σ_{100}, σ_{101} என்பவற்றிற்கும் எழுதலாம்.

மேற்கண்ட மூன்று வெக்டார்களும் முப்பமாரிணத் தலைகீழ் அணிக் கோவையை விளக்குவதற்காகத் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட மூன்று தலைகீழ் அச்சுகளாகும். இம் மூன்று தலைகீழ் அணிக் கோவை அச்சுகள் பின்வருமாறு குறிக்கப்படுகின்றன.

$$a^{\times} = \sigma_{100} = \frac{b \times c}{a \cdot b \times c} \quad \ldots \quad (7)$$

$$b^{\times} = \sigma_{010} = \frac{c \times a}{a \cdot b \times c} \quad \cdots \quad (8)$$

$$c^{\times} = \sigma_{001} = \frac{a \times b}{a\, b \times c} \quad \cdots \quad (9)$$

தலைகீழ் அணிக்கோவை அச்சுகளுக்கும், படிக அச்சுகளுக்கும் உள்ள தொடர்பு கீழே காட்டப்படுள்ளது:

(1) $a^{\times}$ என்ற தலைகீழ் அணிக்கோவை அச்சு b, c என்ற படிக அச்சுகளுக்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது.

(2) $b^{\times}$ என்ற தலைகீழ் அணிக்கோவை அச்சு c, a என்ற படிக அச்சுகளுக்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது.

(3) $c^{\times}$ என்ற தலைகீழ் அணிக்கோவை அச்சு a, b என்ற படிக அச்சுகளுக்குச் செங்குத்தாக இருக்கிறது மேற்சொன்ன மூன்று நிபந்தனைகளைப் பூர்த்தி செய்யக் கீழ்க்கண்ட வெக்டார் தொடர்பு உடையதாக இருக்கவேண்டும்.

$$\left.\begin{array}{ll} a^{\times}.b = 0 & a^{\times}\cdot c = 0 \\ b^{\times}\cdot c = 0 & b^{\times}\cdot a = 0 \\ c^{\times}\, a = 0 & c^{\times}\cdot b = 0 \end{array}\right\} \quad \cdots \quad (10)$$

இதுபோல்

$$a^{\times}\cdot a = 1, \quad b^{\times}\cdot b = 1, \quad c^{\times}\cdot c = 1 \quad \cdots \quad (11)$$

மேற்கண்ட 7, 8, 9 என்ற சமன்பாடுகளிலுள்ள தலைகீழ் அணிக்கோவை வெக்டார்களைக் கொண்டு, ஓர் அணிக்கோவையை உண்டாக்குவதாகக் கொள்வோம். $b^{\times}$ திசையிலுள்ள அடுத்தடுத்த புள்ளிகளை, [100] என்ற காட்டிகளை, முறையே 1, 2, 3, என்ற எண்களால் பெருக்கிக் குறிப்பிடவேண்டும்.

எடுத்துக்காட்டாக

$$a^{\times} = a_{100} = \frac{1}{d_{100}} \vec{n} \quad \cdots \quad (12)$$

$$2a^{\times} = 2\,\sigma_{100} = \frac{2}{d_{100}} \vec{n} \quad \cdots \quad (13)$$

$$= \sigma_{200} = \frac{1}{d_{200}} \vec{n}$$

$$3a^{\times} = 3\sigma_{100} = \frac{3}{d_{100}}$$

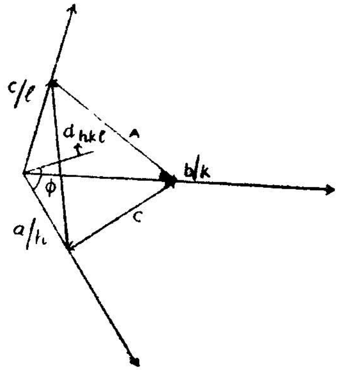
$$= \sigma_{300} = \frac{1}{d_{300}} \quad \ldots \quad (14)$$

மேற்சொன்னபடியே $b^{\times}$ திசையிலுள்ள அடுத்தடுத்த புள்ளிகளையும், $c^{\times}$ திசையிலுள்ள அடுத்தடுத்த புள்ளிகளையும் குறிப்பிட வேண்டும்.

$[khl]$ என்ற தலைகீழ் அணிக்கோவைப் புள்ளியை அடைய, $a^{\times}$ திசையில் h அலகுகளும், $b^{\times}$ திசையில் k அலகுகளும், $c^{\times}$ திசையில் l அலகு σhkl என்பதைக் கீழ்கண்டவாறு குறிப்பிடலாம்.

$$\sigma hkl = ha^{\times} + kb^{\times} + lc^{\times} \quad \ldots \quad (15)$$

ஒவ்வொரு தலைகீழ் அணிக்கோவை வெக்டாரும் படிகத்தின் அணிக் கோவைத் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள்ளன. அதாவது σhkl, $[hkl]$ ஐயும், $[hkl]$ என்ற படிக தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள்ளது. இதை நிரூபிக்க, σhkl ஐயும், $[hkl]$ என்ற தளத்திலுள்ள வெக்டாரையும் பெருக்கினால் அது பூஜ்யமாக வேண்டும்.



படம் 54. [hkl] என்ற தளம். a, b, c என்ற மூன்று பக்கத்திலும் உண்டாகும் வெட்டுத் துண்டுகள்

படம் 54-ல் காட்டியுள்ள $[hkl]$ என்ற தளம் a-ல் $\left(\frac{a}{h}\right)$ என்ற வெட்டுத் துண்டையும், b-ல் $\left(\frac{b}{k}\right)$ என்ற வெட்டுத் துண்டையும், c-ல் $\left(\frac{c}{l}\right)$ என்ற வெட்டுத் துண்டையும் உண்டாக்குகிறது.

வெக்டார் c என்பது

$$\frac{a}{h} - \frac{b}{k} \quad (16)$$

σ *hkl*யையும் *c* யையும் ''புள்ளிப் பெருக்கி'' செய்துவந்த மதிப்பு (dot product)

$$O \cdot \sigma\, h\, k\, l = \left(\frac{a}{h} - \frac{b}{k}\right) \cdot (ha^{\times} + kb^{\times} + lc^{\times})$$

$$= \frac{a}{h} \cdot (ha^{\times} + kb^{\times} + lc^{\times}) - \frac{b}{k} \cdot (ha^{\times} + kb^{\times} + lc^{\times})$$

$$= \left(\frac{h}{h} + 0 + 0\right) \cdot \left(0 + \frac{k}{k} + 0\right)$$

$$= 1 - 1 = 0 \qquad \ldots \qquad (17)$$

இதைப்போல் *A* என்ற வெக்டாரையும், σhkl யையும் 'புள்ளிப் பெருக்கிச் செய்து வந்த மதிப்பு (dot product)

$$= A \cdot \sigma hkl = \left[\frac{b}{k} \cdot \frac{c}{l}\right] \cdot \left[ha^{\times} + kb^{\times} + lc^{\times}\right]$$

$$= \left[0 + \frac{k}{k} + 0\right] - \left[0 + 0 + \frac{l}{l}\right] = 0$$

$$\ldots \qquad (18)$$

மேற்கண்ட (17)ஆவது, (18)ஆவது சமன்பாட்டின்படி σ *hkl* என்பது *C*, *A* இவற்றிற்குச் செங்குத்தாக உள்ளது எனப் பொருள்.

8. புள்ளித் தொகுப்புகளும் இடத் தொகுப்புகளும்

(Point Groups and Space Groups)

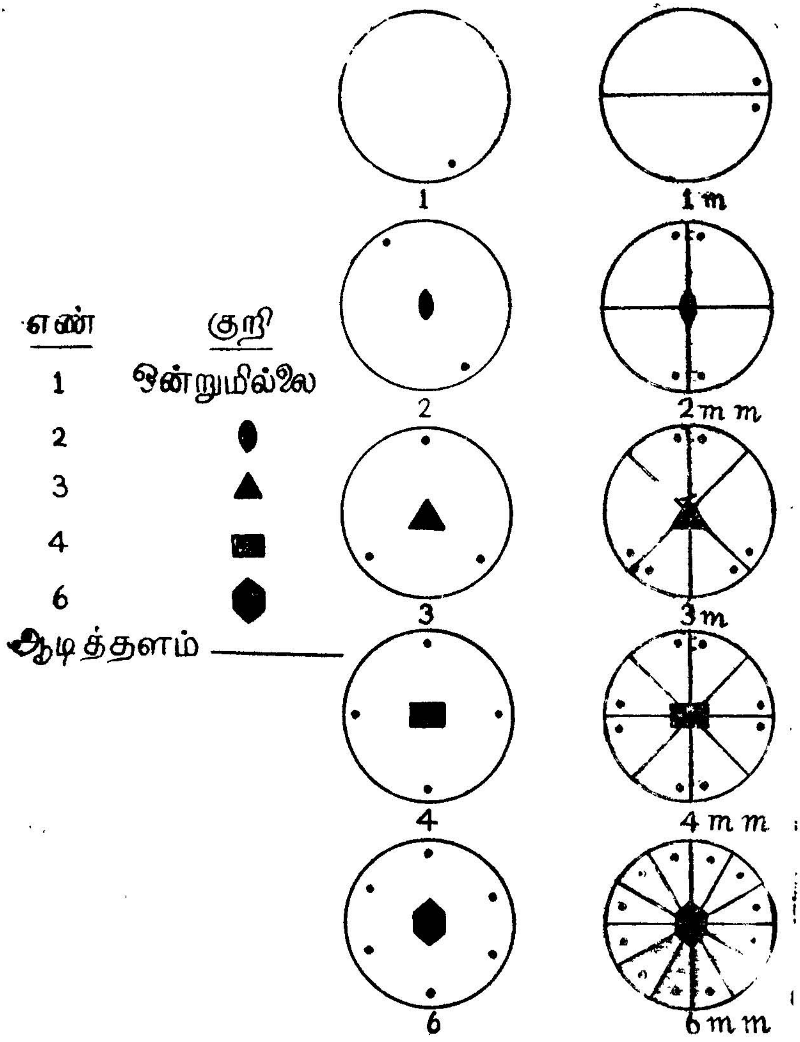
எக்ஸ்கதிர்களைக் கொண்டு படிகத்தைப் பகுத்தாய்வதின் முக்கிய நோக்கம், படிகத்தில் அணுக்களெல்லாம் எங்கெங்கு அமைந்துள்ளன என்பதைக் கண்டுபிடிப்பதற்கேயாகும். இதைக் கொண்டு, படிகத்தின் சமச்சீர் தன்மையையும் படிக இரசாயன குணங்களையும் அறிந்து கொள்ளலாம். ஆகையால், படிகத்தின் வெளித் தோற்றத்திலிருந்து கண்டுகொள்ளும் சமச்சீர் தன்மைகளுக்கு ஏற்றவாறு, அணுக்களையெல்லாம் [அதாவது புள்ளிகளையெல்லாம்] (atoms or points) எந்தெந்த இடத்தில் (space), எந்தெந்த வகைகளில் அமைக்கலாம் என்று தெரிந்து கொள்வது மிகவும் அவசியமாகும்.

புள்ளித் தொகுப்புகள் (Point groups)

அணிக்கோவையில் உள்ள புள்ளித் தொகுப்பு என்பது, அணிக் கோவைப் புள்ளியின் வழியாகச் செலுத்தப்படும் சமச்சீர் செயகைகளின் தொகுப்பே ஆகும். மேற்சொன்ன சமச்சீர் தொகுப்புகளை அணிக்கோவைப் புள்ளி வழியாகச் செலுத்தும் பொழுது, அணிக் கோவையை மாருமல் இருக்கச் செய்கிறது. அதாவது எல்லா சமச்சீர் தனிமங்களும் (symmetry elements) புள்ளித்தொகுப்பு வழியாகவே செல்லவேண்டும். சமச்சீர் தனிமங்கள் எல்லாம் ஒன்றுசேர்ந்து ஒரு தொகுப்பை உண்டாக்குகிறது. இத் தொகுப்பிற்குப் 'புள்ளித் தொகுப்பு' எனப் பெயர்.

சமச்சீர் செய்கைகளைப் படம்-55ில் காட்டியுள்ள குறிகளால் குறிப்பிடுகிறோம்.

படம் 55-ல் எண்கள் சுற்றையும், *m* என்ற குறி ஆடித் தளத்திலே எதிரொளிப்பதையும் குறிக்கின்றன.



படம் 55. சமச்சீர் செய்கைகள்

1 என எண்ணிட்ட புள்ளித் தொகுப்புச் சமச்சீர் செய்கையைப் பெறவில்லை. ஆகையால் இந்தப் புள்ளித் தொகுப்பில் உள்ள புள்ளிக்கு ஒத்த புள்ளி இல்லை.

1 m எனக்குறிப்பிட்ட புள்ளித் தொகுப்பில் ஆடித் தளம் (mirror plane) இருப்பதால், ஒரு புள்ளி ஆடித் தளத்திலே எதிரொளித்து இரண்டாவது புள்ளி உண்டாகிறது.

நான்காவது படத்தில் இருமடிப்பு அச்சோடு, ஓர் ஆடித் தளமும் இருப்பதால், முதல் ஆடித்தளத்திற்குச் செங்குத்தாக இரண்டாவது ஆடித்தளம் உண்டாகிறது. இந்தப் புள்ளித் தொகுப்பில் நான்கு ஒத்த புள்ளிகள் உள்ளன. இந்தப் புள்ளித் தொகுப்பை 2 *m m* என்று குறிப்பிடுகிறோம்.

இதுபோன்று மற்றப் புள்ளித் தொகுப்புகளையும் விளக்கலாம். படத்தில் கண்ட எல்லாப் புள்ளித் தொகுப்புகளையும் கூட்டினால் மொத்தம் 32 புள்ளித் தொகுப்புகள் கிடைக்கின்றன.

இடத் தொகுப்புகள் (Space groups)

முப்பரிமாணத்தில் இட அணிக் கோவையில் வரிசைப்படுத்தப் பட்டிருக்கும் சமச் சீர் தனிமங்கள் இடத்தொகுப்புகள் என வழங் கப்படுகின்றன. இரு பரிமாணத்தில் ஒரு புள்ளியைச் சுற்றியுள்ள சமச்சீர் தனிமங்களின் தொகுப்பைப் "புள்ளித் தொகுப்பு" என வழங்குவது போல், முப்பரிமாணத்தில் குறிப்பிட்ட இடத்தைச் சுற்றியுள்ள தொகுப்பை "இடத் தொகுப்பு" என வழங்குவர். 14 இடக்கோவை (fourteen space lattice)களில் வைக்கப்படும் புள்ளித் தொகுதிகளே இடத் தொகுப்புகளாகும். மேற்கண்ட முறை களில் 230 இடத்தொகுப்புகளும் கிடைப்பதில்லை. ஏனென்றால், இடத் தொகுப்புகளில் உண்டாகிற சில சமச்சீர் தனிமங்கள் (symmetry elements) புள்ளித் தொகுப்புகளில் உண்டாவதில்லை. இடத் தொகுப்புகளில் நுண்ணியமான சில சமச்சீர் தனிமங்களை (microscopic symmetry elements) உண்டாக்கலாம். அதாவது, சில ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகு தூரம் இடப்பெயர்ச்சி (translation) செய்தல் முதலியன. இவையாவும் சேர்ந்து மொத்தம் 230 இடத் தொகுப்புகள் உள்ளன எனக் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

9. படிகங்களின் வகைகள்
(Classification of Crystals)

படிகவடிவத்திலுள்ள திடப் பொருள்கள் அனைத்தையும் கீழ்க் கண்ட ஐந்து வகைகளாகப் பிரிக்கலாம் :

(1) அயனிப் படிகங்கள் (Ionic crystals)

(2) சகபிணைப்புப் படிகங்கள் (Valence crystals)

(3) வாண்டர்வால்ஸ் படிகங்கள் (Vanderwaals crystals)

(4) உலோகங்கள் (Metals)

(5) குறை கடத்திகள் (Semi conductors)

அயனிப் படிகங்கள் (Ionic crystals)

படிகத்தின் ஓர் அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் மற்றோர் அணுவிற்கு மாறுவதால், எலக்ட்ரான் குறைந்த அணு நேர்மின் அயனி என்றும், எலக்ட்ரான்கள் சேர்ந்த அணு எதிர்மின் அயனி எனவும் வழங்கப்படுகின்றன. மேற்கூறிய எதிர்மின் அயனிகளும் நேர்மின் அயனிகளும் சேர்ந்து அயனிப் படிகங்களை உற்பத்தி செய்கின்றன.

சோடியம் குளோரைடு, மக்னீசியம் ஆக்ஸைடு, மக்னீசியம் குளோரைடு முதலிய படிகங்கள் அயனிப் படிகங்களாகும். சாதாரண வெப்பநிலையில் அயனிப் படிகங்கள் காப்பான்களாகவே (insulators) இருக்கின்றன. உயர்ந்த வெப்பநிலையில் (higher temperatures) அயனிகள் தங்களது இருப்பிடங்களை விட்டு நகர்வதால் கடத்துந் திறனைப் பெறுகின்றன. எல்லா அயனிப் படிகங்களும் கிட்டத்தட்ட சோடியம் குளோரைடு அல்லது சீசியம் குளோரைடு இயலமைப்பில்தான் படிகமாகின்றன.

சோடியம் குளோரைடுப் படிகத்தில் ஒவ்வோர் அயனியும் தன்னைச் சுற்றி ஆறு அயனிகளைப் பெற்று இருக்கிறது. ஆகையால், சோடியம் குளோரைடு படிகத்தின் இயலமைப்பு பக்க மையங் கொண்ட கனசதுரமாகும் (face centred cube). சோடியம் குளோரைடு படிகங்களில் ஒரே மாதிரியாயான அயனிகளுக்கிடையி லுள்ள தூரம் 5·62 ஆங்ஸ்ட்ராங் ஆகும்.

சீசியம் குளோரைடுப் படிகத்தின் இயலமைப்பு உருவ மைய கன சதுரமாகும். இதில் ஒவ்வோர் அயனியும் தன்னைச் சுற்றி எட்டு பிற அயனிகளைப் பெற்றிருக்கிறது. இப் படிகத்தில் ஒரே மாதிரியான அயனிகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் 4·11 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகாகும். அநேகமாக எல்லா அயனிப் படிகங்களும் கெட்டியானதாகவே (hard) இருகின்றன. நேர்மின் அயனிக்கும், எதிர்மின் அயனிக்கும் இடையிலுள்ள பிணைப்பு ஆற்றல் (strength of the bonds) மிகவும் வலுவுள்ளதாக இருப்பதால், அயனிப் படிகங்களெல்லாம் கெட்டியானதாக இருக்கின்றன. அநேகமாக எல்லா அயனிப் படிகங்களும் நீரில் கரையும். அயனிப் படிகங்களுள் ஒளி புகும்.

சகப் பிணைப்புப் படிகங்கள் (Valence crystals)

அடுத்தடுத்த அணுக்களில் உள்ள எலக்ட்ரானே சகபிணைப்புப் படிகங்களின் இணைப்பு விசையைக் (cohesive forces) கொடுக்கிறது. சக பிணைப்பில் பங்கெடுத்துக்கொள்ளும் இரு அணுக்களும் தனித் தனியாக ஒவ்வோர் எலக்ட்ரானைப் பிணைப்பதற்காகக் கொடுக் கின்றன. ஆகையால் இரு அணுக்களும் சேர்ந்து மொத்தம் இரு எலக்ட்ரான்களைக் கொடுக்கின்றன. இந்த இரு எலக்ட்ரான் களும் மேற்சொன்ன இரு அணுக்களுக்கும் பொதுவானதாக இருக்கின்றன.

பூரணமான சகபிணைப்புப் படிகங்களின் எண்ணிக்கை மிகவும் குறைவே. வைரம் (diamond), சிலிகான் (silicon), ஜெர்மேனியம் (germanium) சிலிகான் கார்பைட் (silicon carbide) போன்ற படி கங்கள் இந்த வகையைச் சார்ந்தனவாக இருக்கின்றன.

பெரும்பாலான சக பிணைப்புப் படிகங்கள் வன்மையாக (hard) இருக்கின்றன. இவை நொறுங்கும் இயல்புள்ளவைகளாக (brittle) உள்ளன. இவற்றின் பிணைப்பாற்றல் (binding energy)

மிக அதிகம். வைரத்தில் கார்பனின் பிணைப்பாற்றல் 7·4 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டும், சிலிகான் கார்பைடில் (sic) கார்பனின் பிணைப்பாற்றல் 12·3 எலக்ட்ரான் வோல்ட்டும் ஆகும். இதனால் இந்தப் படிகங்கள் உயர்ந்த உருகு நிலையும் (melting point), கொதி நிலையும் (boiling point) உடையதாக உள்ளன. அதிக அலை நீளமுள்ள ஒளிக்கற்றைகள் சக பிணைப்புப் படிகங்களினுள் புகும். ஆனால், குறைந்த அலைநீளமுள்ள ஒளிகற்றைகள் இதனுள் புகா. இப் படிகங்கள் திசை யியல்பு (direction character) உடையவைகளாக இருக்கின்றன. அதாவது, அடுத்தடுத்த அணுக்களில் உள்ளதும், இப் படிகங்களுக்கு இணைப்பு விசையைக் கொடுப்பதுமான எலக்ட்ரான்கள், இவ்விரு அணுக்களைச் சேர்க்கும் கோட்டினூடே அமைந்திருக்கின்றன. இவ் வகையான எலக்ட்ரான்கள் அதிக விசையுடன் ஒன்றை யொன்று இணைப்பதால், இப் படிகங்களினூடே மின்சாரத்தைக் கடத்துவதற்கு இந்த எலக்ட்ரான்கள் பயன்படா. ஆகையால் பெரும்பாலான சகப் பிணைப்புப் படிகங்கள் சாதாரண வெப்ப நிலையில் காப்பான்களாகவே (insulators) இருக்கின்றன.

வாண்டர்வால்ஸ் படிகங்கள் (Vanderwaals crystals or Molecular crystals)

பெரும்பாலான வாண்டர்வால்ஸ் படிகங்கள் வீரியமற்ற (inactive) அணுக்களாலும், மூலக்கூறுகளாலும் ஆக்கப்படுகின்றன. இவ்வகையான படிகங்களில் இருக்கும் அணுக்கள் அல்லது மூலக்கூறுகளுக்கிடையே உள்ள இரு முனை விசையே (dipole forces), இப் படிகங்களின் பிணைப்பாற்றலைக் கொடுக்கிறது. வாண்டர்வால்ஸ் படிகங்கள் குறைந்த உருகு நிலையையும், கொதி நிலையையும் உடையதாக இருக்கின்றன. இவற்றின் பிணைப்பாற்றலும் மிகவும் குறைவே. ஆர்கான் (argon), நியான் (neon), ஹீலியம் (helium) போன்ற மந்த வாயுக்கள் (inert gases) இவ் வகையைச் சேர்ந்தவையே. பெரும்பாலான அங்ககப் படிகங்களும் (organic crystals) இவ் வகையைச் சேர்ந்தவையே.

உலோக படிகங்கள் (Metallic crystals)

பொதுவாக எல்லா உலோகங்களும், வெப்பம், மின்சாரம் ஆகியவற்றை எளிதில் கடக்கக் கூடியவை. உலோகங்களில்,

தனித்தியங்கும் எலக்ட்ரான்கள் (free electrons) வெப்பத்தையும், மின் சாரத்தையும் கடத்துவதற்குப் பயன்படுகின்றன. உலோகங்களை உஷ்ணப்படுத்தினுல் அதன் கடத்தும் திறன் குறைகிறது. மாருக குறைகடத்திகளின் வெப்பநிலையை அதிகமாக்கினுல் அவற்றின் கடத்துந்திறன் அதிகமாகிறது.

III. எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவும் படிகப் பகுப்பாய்வும்

(X-Ray Diffraction and Crystal Analysis)

1. எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவு
(X-Ray Diffraction)

முதன் முதலாகக் காம்ப்டன், டோான் என்ற இருவரும் 1925-ல் கீற்றணியை (grating) கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவுத் தன்மையைக் கண்டறிந்தார்கள். அதற்குப் பல வருடங்களுக்கு முன்பே பிரடிரிச் (Friedrich), நிப்பிங் (Knipping), லாவே (Laue) என்ற மூவரும் படிகத்தின் வழியாக எக்ஸ்கதிர்களைச் செலுத்தி விளிம்புவளைவு பாகத்தை (diffraction pattern) உண்டாக்க முடியும் எனக் காட்டினார்கள். முதல் விளிம்பு வளைவு பாகத்தைக் காப்பர் சல்பேட் (copper sulphate) என்ற படிகத்தைக் கொண்டு உண்டாக்கினார்கள். எக்ஸ்கதிர்களின் அலை நீளத்திற்கும், படிகத்தில் அடுத்தடுத்த அணுக்களுக்கிடையே உள்ள தூரத்திற்கும் உள்ள வேறுபாடு மிகவும் அதிகமாக இல்லாததால், படிகத்தைக் கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவுத் தன்மையை அறிய முடிகிறது. இதைக் கொண்டு படிகத்திலுள்ள அணுக்கள், மூலக்கூறுகள் இவற்றின் இயலமைப்பை மற்ற வழிகளைக் காட்டிலும் சிறந்த முறையில் தெரிந்துகொள்ள முடிகிறது. மேலும், எக்ஸ் கதிர்களின் விளிம்பு வளைவு தன்மையைக் கொண்டு, ஒரே இரசாயனக் கூட்டுப் பொருளில் கலந்துள்ள இயைபு உறுப்புகளைக் (constituents) கூறமுடியும். இதைப்போல் இன்னும் ஏராளமான வகைகளில் பயன்படுகின்றன.

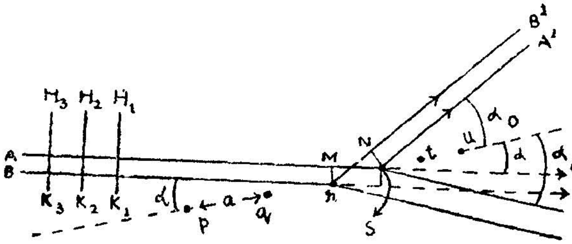
படிகத்தில் எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவிற்குரிய விதிகள் (Laws of X-ray Diffraction in a crystal)

லாவேயின் சமன்பாடு

கீழ்க்கண்ட படத்தில் p, q, r, s, t, u என்ற புள்ளிகள் படிகத்தில் a என்ற அச்சிற்கு இணையாக இருக்கும் வரிசையில் உள்ள அணுக்களைக் குறிக்கின்றன. அடுத்தடுத்த அணுக்களின் இடைவெளித் தூரம் 'a' என்பதாகும்.

H_1 K_1, H_2 K_2, H_3 K_3 என்பவை வெகு தூரத்திலுள்ள மூலத்திலிருந்து, (source) குறிப்பிட்ட வரிசையிலுள்ள அணுக்களை

நோக்கி வந்து கொண்டிருக்கும் எக்ஸ் கதிர்களின் அலைமுகங்களைக் (wave fronts) குறிக்கின்றன. *As*, *Br* என்ற திசையில் எக்ஸ்



படம் 56. ஓரியலாகச் சிதறும் எக்ஸ்கதிர்கள்

கதிர்கள் சென்றுகொண்டிருக்கின்றன. படத்தில் *r M* என்பது *A S*, என்ற கோட்டிற்குச் செங்குத்தாக வரையப்பட்டிருக்கிறது. அதேபோல் *r B'* என்ற கோட்டிற்குச் செங்குத்தாக *S N* என்ற கோடு வரையப்பட்டிருக்கிறது. மேற்சொன்ன அலைமுகங்களில் ஒன்று *r M* என்ற இடத்தை அடைவதாகக் கொள்வோம். இங்கு வந்தவுடன் *r* என்ற இடத்திலுள்ள அணு தன்மீது மோதிய எக்ஸ் கதிர்களின் சில பகுதியை *rB'* என்ற திசையைநோக்கி ஓரியலாகச் சிதறச் (coherent scattering) செய்கிறது. அதே அலைமுகம் இன்னும் சிறிது தூரம் நகர்ந்து *S* என்ற இடத்தை அடைந்தவுடன் அவ்விடத்திலுள்ள அணு முன்கூறியதுபோல், *SA'* என்ற திசையை நோக்கி எக்ஸ்கதிர்களின் சில பகுதியை ஓரியலாகச் சிதறச் செய்கிறது, *r*, *S* என்ற இடங்களிலுள்ள அணுக்களால் சிதறடிக்கப்பட்ட இரண்டு அலைக் குட்டிகளும் (wavelets), $MS - rM = e\lambda$ (இந்த சமன்பாட்டில் *e* என்பது 1, 2, 3 ..... போன்ற முழு எண்களாகும். λ என்பது அலைநீளம்.) என்ற நிபந்தனைக்குட்பட்டால், இவை இரண்டும் ஒரே கட்டத்தில் (inphase with each other) இருக்கும். இதுபோல் இவ்வரிசையிலுள்ள மற்ற அணுக்களும் எக்ஸ்கதிர்களை, *rB'*, *SA'* என்ற திசைகளில் சிதறடிக்கச் செய்வதால், சிதறடிக்கப்பட்ட எல்லாக் கற்றைகளும் சேர்ந்து விளிம்பு விளைவுக் கற்றைகளாக (diffracted beam) அமைகின்றன. '*e*' என்ற எண், விளிம்பு விளைவு கற்றைகளின் வரிசையைக் குறிப்பிடுகிறது.

மேற்குறிப்பிட்ட விளக்கங்கள், ஒரு தளத்திலுள்ள கீற்றணி (plane ruled grating) மூலம் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவு கற்றைகளுக்குக் கூறும் விளக்கத்தை ஒத்து இருக்கின்றன. ஆனால்,

மேற்சொன்ன படிகத்தில் குறிப்பிட்ட வரிசையில் ஏராளமான அணுக்கள் உள்ளன. AS, SA' என்ற கதிர்களும், p, q, r, s, t, u என்ற அணுக்களுடைய வரிசையும் ஒரே தளத்தில் இல்லை. ஆகையால் e-ன் குறிப்பிட்ட மதிப்பிற்கு விளிம்பு வளைவுக் கற்றை கள் p, q, r, s, t, u என்பதை ஓர் அச்சாகக்கொண்டு ஒரு கூம்பை (cone) உண்டாக்குகின்றன. α_0, α என்ற கோணங்கள் கதிர் கற்றைகள், விளிம்பு விளைவுக் கற்றைகள் ஆகிய இவ்விரு கற்றைகளும் கூம்பின் அச்சோடு உண்டாக்கக் கூடிய கோணங் களாகும்.

e-ன் மற்ற மதிப்பிற்கு ஏற்ப மேற்சொன்ன α என்ற கோணம் மாறுபடும் ($e = 1, 2, 3 \ldots\ldots n$)

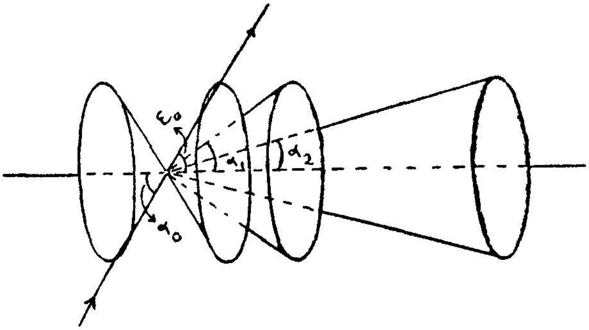
$$MS - rN = a \cos_{\alpha} - a \cos_{\alpha_0}$$

$$= a(\cos_{\alpha} - \cos_{\alpha_0}) = e\lambda \qquad \ldots \qquad (1)$$

இந்த 1 ஆவது சமன்பாடு, A அச்சிற்கு இணையாக உள்ள வரிசை யில் இருக்கும் அணுக்களினால் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவு கற்றை களைக் குறிக்கும். இதேபோல் B என்ற அச்சிற்கு இணையாக உள்ள வரிசையில் இருக்கும் அணுக்களினால் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவுக் கற்றைகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு குறிக்கும் :

$$b(\cos \eta - \cos \eta') = f\lambda \qquad \ldots \qquad (2)$$

இதில் b என்பது B என்ற அச்சுக்கு இணையாக உள்ள வரிசையில்



படம் 57. விளிம்பு விளைவு கற்றைகள் உண்டாக்குகின்ற கூம்பு

அமைந்துள்ள அணுக்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம். α, α_0-க்கும்

பதிலாக உள்ள கோணங்கள் η, η' ஆகும். f என்பது விளிம்பு விளைவு வரிசை எண்ணாகும் (order of diffraction).

இதேபோல் c என்ற அச்சிற்கு இணையாக உள்ள வரிசையில் இருக்கும் அணுக்களினால் உண்டாகும் விளிம்பு விளைவுக் கற்றைகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு குறிக்கும் :

$$c\,(\cos v - \cos v') = g\,\lambda \qquad \ldots \qquad (3)$$

மேற்கண்ட 1, 2, 3 என்ற இம்மூன்று சமன்பாடுகளும் லாவேயின் சமன்பாடுகளாகும் (Laue's equation).

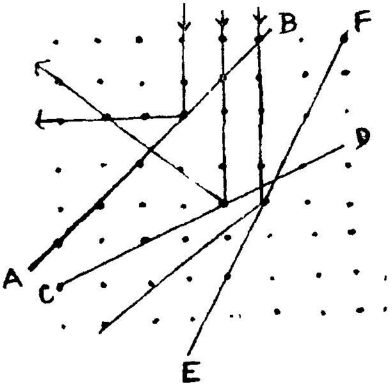
2. பிராக்கின் விதி

(Bragg's Law)

லாவேயின் கண்டுபிடிப்பிற்குப் பிறகு அநேக இயற்பியலாளர்கள் எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு விளைவுத் தன்மையைப்பற்றி ஆராயத் தொடங்கினர்கள். அவர்களில் பிராக் (W. L. Bragg) என்பவர் மிகவும் முக்கியமானவர்.

பிராக்கின் விதி (Bragg's Law)

படிகத்தில் அணுக்களின் அமைப்பைக் கீழ்க்கண்ட படம் காட்டுகிறது, படத்தில் AB, CD, EF என்ற கோடுகள் வெவ்வேறு தளங்களைக் குறிப்பிடுகின்றன. இத் தளங்களில் சில தளங்கள் அதிக அணுக்களைக் கொண்டதாகவும், பிறதளங்கள் குறைந்த

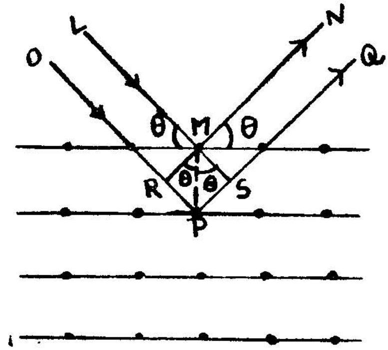


படம் 58. படிகத்தில் அணுக்களின் அமைப்பு

எண்ணிக்கையுடைய அணுக்களைக் கொண்டதாகவும் இருக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக AB வழியாகச் செல்லும் தளம், CD வழியாகச் செல்லும் தளத்தைக் காட்டிலும் அதிக அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள் கீழ்நோக்கிச் செங்குத்தாக வருவதாகக் கொள்வோம். ஒவ்வொரு தளத்திலும் உள்ள அணுக்கள் இக் கற்றைகளின் ஒரு பகுதியை எதிரொளிக்கச்

செய்கின்றன (partial reflection). இவ்வாறு எதிரொளிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள் லாவே குறிப்பிட்ட விளிம்பு வளைவு அமைட்பை (Laue diffraction pattern) உண்டாக்குகின்றன. மேற் சொன்னபடி, வெவ்வேறு தளங்களிலிருந்து எதிரொளிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்கள் எல்லாம் சேர்ந்து விளிம்பு வளைவு அமைப்பை உண்டாக்குவதற்குரிய நிபந்தனைகளைக் கீழே காண்போம்.

படத்தில், ஒரு படிகத்தின் ஒரு போக்குத் தளங்களும் அவற்றில் அணுக்களின் அமைப்பும் காட்டப்பட்டுள்ளன



படம் 59. பிராக்கின் விதியை விளக்கும் படம்

ஒரு தளத்திற்கும் அடுத்த தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் 'd' எனக் கொள்வோம்.

குறுகிய ஒற்றை நிற (monochromatic) எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள், படத்தில் காட்டியபடி, படிகத்தின் ஒரு போக்குத் தளங்களில் விழுவதாகக் கொள்வோம். எக்ஸ்கதிருக்கும், தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தொடுகோணம் (glancing angle) θ-வாகக் கொள்வோம். எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் λ. சாதாரண ஒளிக் கதிர்களைக் காட்டிலும் எக்ஸ்கதிர்களின் ஊடுருவுதிறன் (penetrating power) அதிகம். இக் கதிர்கள் ஒவ்வொரு தளத்திற்குள்ளும் ஊடுருவிச் சென்று, அங்குள்ள அணுக்களால் சிறிதளவு எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. ஆகையால், ஒவ்வொரு தளத்திலிருந்து வருகிற எதிரொளிப்புக் கதிர்களைக் கணக்கில் கொண்டு, இவை எல்லாம் சேர்ந்து உண்டாக்குகின்ற 'விளிம்பு விளைவு அமைப்பை'க் காணவேண்டும். ஒவ்வொரு தளத்திலிருந்தும் எதிரொளிக்கப்படுகிற கதிர்கள் எல்லாம் ஒரே கட்டத்தில் (inphase) இருந்தால், இவை எல்லாம் சேர்ந்து செறிவான எதிரொளிப்புக்

கதிர்களை (intense reflected beam) உண்டாக்குகின்றன. அடுத்தடுத்த தளங்களிலிருந்து வெளிவருகிற எதிரொளிப்புக் கதிர்கள் அனைத்தும் ஒரே கட்டத்தில் இருக்க வேண்டுமென்றால், இக் கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு (path difference), இவற்றின் அலை நீளத்தின் முழுஎண் மடங்காக ((integral multiples of wave-length) இருக்கவேண்டும்) அதாவது எதிரொளிப்புக் கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு, $n\lambda$ ($n = 1, 2, 3 \ldots$)வாக இருந்தால் இவை எல்லாம் ஒரே கட்டத்தில் இருக்கும்.

படத்தில் LM, OP என்ற இரு ஒரு போக்குக் கதிர்கள், முதல் இரண்டு தளங்களால் MN, PQ என்ற திசை நோக்கி எதிரொளிக்கப்படுகின்றன. OPQ என்ற எக்ஸ்கதிரின் பாதை நீளம் LMN என்ற எக்ஸ்கதிரின் பாதை நீளத்தைக் காட்டிலும் அதிகம். ஆகையால் இரண்டு கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு ($RP + PS$) ஆகும். படத்தில் M என்ற புள்ளியிலிருந்து OP, PQ என்ற இரு கோடுகளுக்கும் வரையப்பட்டிருக்கும் செங்குத்துக் கோடுகளின் அடிப்பகுதி முறையே R-ம், S-ம் ஆகும்.

மேற்சொன்னபடி, இந்த இரண்டு கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ ஆக இருந்தால், இந்த இரண்டு கதிர்களும் சேர்ந்து, செறிவான விளிம்பு வளைவு அமைப்பை உண்டாக்கும். படத்தில் $RP = PS = MP \sin\theta = d \sin\theta$. [$d$ என்பது ஒரு தளத்திற்கும் அதற்கு அடுத்தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள இடைவெளியாகும்.]

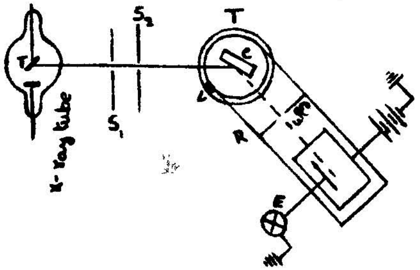
எனவே,

$$RP + PS = 2d \sin\theta = n\lambda$$

இதுவே பிராக்கின் விதியாகும். இதை பிராக்கின் சமன்பாடு (Bragg's equation) எனவும் கூறுவார்கள். இச் சமன்பாட்டில் n என்பது எதிரொளிப்பு வரிசை (order of reflection) ஆகும். n-ன் மதிப்பு 1, 2, 3... என இருக்கலாம்.

மேற்சொன்ன $2d \sin\theta = n\lambda$ என்னும் பிராக்கின் விதிப்படி, படிகத்தில் ஒன்றன்கீழ் ஒன்றாக வரிசையாக அமைந்துள்ள தளங்களினால் எக்ஸ்கதிர்கள், சாதாரண ஒளிக் கதிர்களைப்போல், எதிரொளிக்கப்படுகின்றன எனக் கொள்ளலாம். இதை நிரூபித்துக் காட்டுவதற்கு 'பிராக்கின் எக்ஸ்கதிர் நிறமானி' (Bragg's X-ray spectrometer) உபயோகிக்கப்படுகிறது. இந்தக் கருவியின் அமைப்பை அடுத்த பக்கத்தில் காண்போம்.

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து எக்ஸ்கதிர்க் கற்றைகள், S_1, S_2 என்ற இரு பிளவுகளின் (slits) வழியாகச் செலுத்தப்படுவதினால்,



படம் 60. பிராக்கின் எக்ஸ்கதிர் நிறமாலைமானி

மிகவும் குறுகிய கற்றைகள், படிகத்தின் பிளவுறுமுகத்தில் (clevage face) விழுமாறு செய்யப்படுகின்றன. இந்தப் படிகம் T என்ற வட்ட வடிவமான ஒரு தாங்கியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இத் தாங்கியை நான்கு பக்கங்களிலும் சுற்றித் திருப்ப முடியும். இதனுடைய சுழல்நிலையை (angular position) V என்ற வெர்னியரைக் கொண்டு துல்லியமாக அளக்க முடியும். சாதாரணமாக குவார்ட்ச் (quartz), கால்ஸைட் (calcite), மைகா (mica) போன்ற படிகங்களே மேற்கண்ட நிறமாலைமானியில் பயன்படுகின்றன. படிகத்தைத் தாங்கியிருக்கும் வட்ட வடிவமான தாங்கியோடு, R என்ற ஓர் அமைப்பு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த அமைப்பு அயனிக் கலத்தைப் பெற்றிருக்கிறது. அயனிக் கலத்தோடு E என்ற குவாட்ரன்ட் எலக்ட்ராமீட்டர் (quadrant elecrometer) இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. இதைக் கொண்டு, எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை அளக்க முடியும்.

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்கள் படிக முகத்தில் (crystal face) விழும்போது 'θ' என்ற தொடுகோணத்தில் விழுந்தால், படிகத்திலிருந்து '2θ' என்ற கோணத்தில் எதிரொளிக்கப்படும். இத் திசையில் அயனிக் கலத்தையுடைய R என்ற அமைப்பை வைத்தால் படிகத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் எக்ஸ்கதிர்கள் அயனிக் கலத்திற்குள் செல்வதால் அயனி ஓட்டம் ஏற்பட்டு அதனால் குவாட்ரன்ட் எலக்ட்ரா மீட்டரின் ஊசி (needle) விலகும்.

எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் λ ஆக இருக்கட்டும். பிராக்கின் விதிப்படி படிகத்தில் விழும் எக்ஸ்கதிர்களின் தொடுகோணங்கள்

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ ஆகவும் அவற்றிற்கு ஒத்த n-ன் மதிப்புகள் முறையே 1, 2, 3 ஆக இருப்பின், படிகத்திலிருந்து எக்ஸ்கதிர்கள் எதிரொளிக்கப்படும். இதற்குரிய சமன்பாடுகள் பின்வருமாறு :

$$1 \times \lambda = 2d \sin \theta_1 \quad (n = 1) \longrightarrow (1)$$

$$2 \times \lambda = 2d \sin \theta_2 \quad (n = 2) \longrightarrow (2)$$

$$3 \times \lambda = 2d \sin \theta_3 \quad (n = 3) \longrightarrow (3)$$

இதிலிருந்து $\sin \theta_1 : \sin \theta_2 : \sin \theta_3 = 1 : 2 : 3$ ஆகும். எக்ஸ் கதிர்கள் படிக தளங்களிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படுகின்றபொழுது, $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ போன்ற தொடுகோணங்களை அளந்து, மேற்கண்ட நான்காவது தொடர்பை நிரூபித்தால் (அதாவது $\sin \theta_1 : \sin \theta_2 : \sin \theta_3 = 1 : 2 : 3$) எக்ஸ்கதிர்களும் சாதாரண ஒளிக் கற்றை களைப்போல் எதிரொளிக்கப்படுகின்றன என்ற 'பிராக்கின் கொள் கையை' நிரூபித்தற்குச் சமமாகும்,

படிகத்திலிருந்து எக்ஸ்கதிர்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் எதிரொளிக்கப்பட வேண்டுமென்றால், அந்தக் குறிப்பிட்ட படிகத் தில் ஒரு தளத்திற்கும, அதற்கு அடுத்துள்ள தளத்திற்கும் இடையேயுள்ள தூரம் (அதாவது d என்பது) எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளத்தை (λ) விட அதிகமாக இருக்கக் கூடாது.

இரு படிக நிறமாலை மானி (Double crystal spectrometer)

பிராக்கின் சாதாரண எக்ஸ்கதிர் நிறமாலை மானியில் ஒரு படிகமே பயன்படுத்தப்படுகிறது. அதாவது எந்தப் படிகத்தின் இயலமைப்பைத் தெரிந்துகொள்ள வேண்டுமோ, அப் படிகத்தை வட்ட வடிவமான தாங்கியில் பொருத்தி, அதன்மேல் எக்ஸ்கதிர் கள் விழுமாற செய்யப்படுகிறது. இரு படிக நிறமாலை மானியில் ஒரு படிகத்திற்குப் பதிலாக இரு படிகங்கள் பயன்படுத்தப்படு கின்றன. முதல் படிகம் ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்தில் பொருத்தப் படுகிறது. இப் படிகம் தன்மேல் விழும் முதன்மை எக்ஸ்கதிர் களிலிருந்து குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள ஓர் எக்ஸ்கதிரை மட்டும் எதிரொளிக்கச் செய்து வட்டவடிவமான தாங்கியிலுள்ள இரண்டா வது படிகத்தின்மேல் விழுமாறு செய்கிறது. பிறகு இப் படிகம் தன்மேல் விழுந்த எக்ஸ்கதிரைக் குறிப்பிட்ட ஒரு கோணத்தில் எதிரொளிக்கச் செய்கிறது. இதிலிருந்து இரண்டாவது படிகத்தின் இயலமைப்பையோ அல்லது தொடுகோணங்களையோ கணக்கிட்டு அறியலாம், இந்த இரு படிக நிறமாலை மானியில், முதல் படிகம், பல அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்கள் அடங்கிய கற்றையிலிருந்து

குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள ஒரே ஓர் எக்ஸ்கதிரை மட்டும் பிரித்து இரண்டாவது படிகத்தின்மேல் விழுமாறு செய்கிறது. இந்த நிறமாலை மானியைப் பற்றிய முழு விபரமும் காம்ப்டன், அலிஸன் என்ற இவர்களால் எழுதப்பட்ட '(X-rays in theory and experiment)' என்ற நூலில் அடங்கியுள்ளது.

மாற்றப்பட்ட பிராக்கின் விதி (Modified Bragg's Law)

$2d \sin\theta = n\lambda$ என்பது பிராக்கின் விதி எனப் பார்த்தோம். இதன்படி எக்ஸ்கதிர்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட படிகத்திலிருந்து எதிரொளிக்கப்படுவதாகக் கொள்வோம். இந் நிலையில் எக்ஸ்கதிர் படிகமுகத்தில் விழும்போது செய்யும் கோணமான தொடு கோணத்தையும் (θ), படிகதளங்களுக்கிடையிலுள்ள தூரத்தையும் (d), n-ன் மதிப்பையும் கொண்டு மேற்கண்ட பிராக்கின் சமன் பாட்டில் பயன்படுத்தி. எக்ஸ் கதிரின் அலைநீளத்தைத் தெரிந்து கொள்ளலாம். ஸ்டென்ஸ்ட்ரோயம் (Stenstroem) என்பவர், 1919-ல், மேற்சொன்ன n-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்கு (for different orders of reflection) எக்ஸ்கதிரின் அலைநீளத்தின் மதிப்புகளைக் கணக்கிட்டார். இம் முறையில் அலைநீளத்தின் மதிப்புகள் எல்லாம் சமமாக இல்லை என்பதைக் கண்டார். எக்ஸ் கதிர்கள் படிகத்துக்குள் செல்லும்பொழுதும், படிகத்திலிருந்து வெளிவரும் பொழுதும் பாதைவிலகிச் செல்வதால் (due to refraction) தான் எக்ஸ்கதிர் அலை நீளத்தின் மதிப்புகள் அனைத்தும் மாறுபடுகின்றன எனக் கண்டார்.

பிராக்கின் விதிப்படி

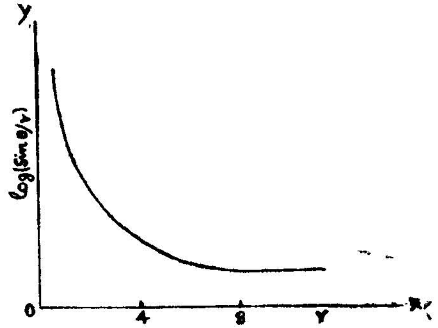
$$n\lambda = 2d \sin\theta$$

$$\frac{\sin\theta}{n} = \frac{\lambda}{2d}$$ இதில் n-ன் மதிப்பு எதுவாக இருந்தாலும்,

$$\frac{\lambda}{2d}$$ என்பது மாறிலி.

ஹிஜால்மர் (Hijalmar) என்பவர் படிகத்தைக் கீற்றணியாகக் கொண்டு எக்ஸ்கதிர்களின் அலை நீளத்தைப் பத்து எதிரொளிப்பு வரிசை (up to tenth order reflection) வரையிலும் கண்டு பிடித்தார். log sin θ வை Y அச்சிலும், n ஐ X அச்சிலும் எடுத்துக் கொண்டு, வரைபடம் ஒன்று வரைந்தார். மேற்சொன்னபடி வரை

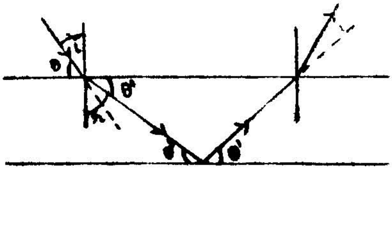
படம் வரைந்தால் பிராக்கின் விதிப்படி X அச்சிற்கு இணையாக ஒரு நேர்கோடு கிடைக்கவேண்டும். ஆனால், ஹஜால்மருக்குப் படத்தில்



படம் 61. γ vs log sin θ

காட்டியுள்ளபடி ஒரு வளைகோடு (curve) கிடைத்தது. மேற்கண்ட வரைபடத்தில் *n*-ன் மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாக, $\frac{\sin\theta}{n}$ என்பது ஒரு மாறிலி (constant) யாகவும், *n*-ன் மதிப்பு குறையக் குறைய, $\frac{\sin\theta}{\theta}$ ஒரு மாறியாகவும் (variable) ஆகிறது. இதற்குக் காரணம், எக்ஸ்கதிர்கள் படிகத்தில் வெவ்வேறு தளங்களுக்குள் ஊடுருவிச் செல்லும்பொழுது, அவற்றின் அலை நீளத்தின் மதிப்பு மாறுபடுகிறது. அவை எவ்வாறு மாறுபடுகிறது என்பதைப் பார்ப்போம்.

படம் 62-ல் குறிப்பிட்ட ஒரு படிகத்தின் மேல்தளங்கள் காட்டப்பட்டிருக்கின்றது. λ அலை நீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர், படிகமுகத்தில்



படம் 62. எக்ஸ்கதிர்கள் உண்டாக்குகின்ற தொடுகோணம்

விழும்பொழுது, θ என்ற தொடு கோணத்தை உண்டாக்குகிறது,

எக்ஸ்கதிர்கள் படிகத்தினுள் ஊடுருவிச் செல்லும் பொழுது அவை மேற்தளத்தில் சென்ற பாதையினின்றும் விலகி மாறு பாதை வழியாக அடுத்த தளத்திற்குச் செல்லுகின்றன. இதனால் குறிப்பிட்ட எக்ஸ்கதிர் மேற்தளத்தில் உண்டாக்கிய படுகோணமும், அதற்கடுத்த தளத்தில் உண்டாக்கிய படுகோணமும் (angle of incidence) ஒன்றுயிருப்பதில்லை. இதேபோல் மேற்சொன்ன எக்ஸ் கதிரால், மேல்தளத்திலும் அதற்கடுத்த தளத்திலும் உண்டாக்கப் பட்ட தொடுகோணங்களும் ஒன்றுயிருப்பதில்லை. அதாவது $\theta \neq \theta'$. உண்மையில் θ', θ வை விடக் குறைவாக இருக்கும். $\theta' < \theta$. இரு தளங்களுக்கும் உரிய பிராக்கின் விதியை எழுதுவோமானுல்,

$$n\lambda = 2d\sin\theta \qquad \ldots \qquad (1) \qquad \text{(முதல் தளம்)}$$

$$n\lambda' = 2d\sin\theta' \qquad \ldots \qquad (2) \qquad \text{(இரண்டாவது தளம்)}$$

என அமையும். ஒளியியலில் கூறப்பட்டுள்ள விதிகளின்படி

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda^1} = \frac{\sin i}{\sin r}\,\frac{\cos\theta}{\cos\theta'} < 1 \qquad \ldots \qquad (3)$$

விலகு கோணம் r. படுகோணம் iஐ விட அதிகம். θ-வும் θ'-ம் முறையே i. r இவ்வற்றின் நிரப்புக் கோணங்க்ளாகும் (complimentary angles). எக்ஸ் கதிரின் ஒளிவிலகவெண் (refractive index) ஒன்றைவிடக் குறைவாக உள்ளது.

மேற்சொன்ன எக்ஸ்கதிர் விலகலின் விளைவைப் பிராக்கின் தொடர்புக்குள் உட்படுத்தி, அதனுல் பிராக்கின் விதி கீழ்வருமாறு மாற்றப்படுகிறது :

மூன்ருவது சமன்பாட்டின் படி,

$$\lambda' = \frac{\lambda}{\mu} \qquad \ldots \qquad (4)$$

இதன்படி இரண்டாவது சமன்பாட்டைக் கீழ்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$n\frac{\lambda}{\mu} = 2d\sin\theta'$$

$$= 2d\,(1-\cos^2\theta')^{\frac{1}{2}}$$

$$n\lambda = 2\mu d(1-\cos^2\theta')^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d[\mu^2 - \mu^2\cos^2\theta']^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sqrt{\mu^2 - \mu^2\cos^2\theta'}$$

$$= 2d\sqrt{\mu^2 - \cos^2\theta}$$

$$= 2d\sqrt{\mu^2 - (1-\sin^2\theta)}$$

$$= 2d\sqrt{\sin^2\theta - (1-\mu^2)}$$

$$= 2d\sin\theta\left[1 - \frac{(1-\mu^2)}{\sin^2\theta}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left[1 - \frac{(1+\mu)(1-\mu)}{\sin^2\theta}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2d\sin\theta\left[1 - \frac{2(1-\mu)}{\sin^2\theta}\right]^{\frac{1}{2}}$$

ஈருறுப்புத் தேற்றத்தைப் (binomial theorem) பயன்படுத்தி மேற்கண்ட தொடர்பைக் கீழ்வருமாறு எழுதலாம் :

$$n\lambda = 2d\sin\theta\left[1 - \frac{2(1-\mu)}{2\sin^2\theta}\right]$$

$$n\lambda = 2d\sin\theta\left[1 - \frac{(1-\mu)}{\sin^2\theta}\right]$$

$(1-\mu) = \delta$ எனக் கொள்வோம்.

$$n\lambda = 2d\sin\theta\left[1 - \frac{\delta}{\sin^2\theta}\right]$$

பிராக்கின் முதல் விதிப்படி

$n\lambda = 2d\sin\theta$ என்பதாகும்.

$$n^2 \lambda^2 = 4d^2 \sin^2 \theta$$

$$\sin^2 \theta = \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2}$$

$\sin^2 \theta$-ன் மதிப்பை மேற்கண்ட தொடரில் பிரதியிட்டால்

$$n \lambda = 2d \sin \theta \left[1 - \frac{\delta\, 4\, d^2}{n^2 \lambda^2} \right]$$

இதுவே பிராக்கின் மாற்றப்பட்ட விதியாகும்.

பிராக்கின் விதி எவ்வாறு பயன்படுகிறது என்பதைக் கீழ்க் கண்ட உதாரணங்களால் விளக்கலாம் :

(1) 0·440 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகுள்ள எக்ஸ்கதிர், ராக்சால்ட் படிகத்தின் கனசதுர முகத்திலிருந்து எந்தக் கோணங்களில் எதிரொளிக்கப்படுகிறது? (d = 2·8197 A. U.)

பிராக்கின் விதி = $n \lambda = 2d \sin \theta_1$

$$\sin \theta_1 = \frac{1 \times 0{\cdot}440}{2 \times 2{\cdot}8197}$$

$$\theta_1 = 4^\circ{\cdot}29'$$

இதுபோல்

$$\sin \theta_2 = \frac{2 \times 0{\cdot}44}{2 \times 2{\cdot}8197}$$

$$\theta_2 = 8^\circ{\cdot}59'$$

இதுபோல் θ_3, θ_4 · இவற்றின் மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

$$\theta_3 = 13^\circ\ 34'$$

$$\theta_4 = 18^\circ{\cdot}14'$$

$$\theta_5 = 23^\circ{\cdot}1'$$

(2) 0·2 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகிலிருந்து 1·0 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகு வரை அலை நீளமுள்ள எக்ஸ் கதிர் கற்றையில், எந்த எந்த அலை

நீளங்கள் ராக்சால்ட் படிகத்தின் கன சதுர முகத்திலிருந்து, அவற்றின் தொடு கோணம் 9° யாக இருக்கும் பொழுது எதிரொளிக்கப் படுகின்றன? ($d = 2{\cdot}8197°$ A)

பிராக்கின் விதிப்படி

$$\sin \theta_1 = \frac{n\lambda}{2d}$$

அல்லது

$$n\lambda = 2d \sin \theta_1$$

$$1 \times \lambda_1 = 5{,}639 \times \sin 9°$$

$$\lambda_1 = 0{\cdot}8804 \text{ A U.}$$

இதேபோல்

$$2 \times \lambda_2 = 5{\cdot}639 \times \sin 9°$$

$$\lambda_2 = 0{\cdot}440 \text{ A. U.}$$

$$\lambda_3 = 0{\cdot}293 \text{ A. U.}$$

$$\lambda_4 = 0{\cdot}220 \text{ A. U.}$$

ஆகையால் எதிரொளிக்கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்க் கற்றையில் அடங்கியுள்ள எக்ஸ்கதிர்களின் அலை நீளங்கள் முறையே 0·880 A. U, 0·440 A. U, 0·293 A U, 0·220 A. U. ஆகும். அலை நீளங்களின் விகிதங்கள் முறையே $1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4}$.

3. பிராக்கின் படிகப் பகுத்தாய்வு முறை

(Bragg's Method of Crystal Analysis)

இம் முறையானது பிராக்கின் நிறமாலை மானியைக் கொண்டு பிராக்கின் விதியைப் பயன்படுத்திப் படிகத் தளங்களுக்கு இடையிலுள்ள தூரத்தை அளத்தலே யாகும். முதலில், தெரிந்த தரமான ஒரு படிகத்தை எடுத்துக் கொண்டு அதில் ஒரு தளத்திற்கும், அதற்கு அடுத்த தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தை, இயற்பியல் மாறிலிகளைக் கொண்டு (physical constants) நிர்ணயம் செய்யவேண்டும். இதைக் கொண்டு மற்ற படிகங்களின் தள தூரங்களைக் கணக்கிடுவது எளிது.

இதை முதலில் செய்தவர் மோஸ்லி என்பவர். மோஸ்லி ராக் சால்ட் என்னும் படிகத்தை ஒரு தரமான படிகமாக எடுத்துக் கொண்டார். ராக்சால்ட் பக்க மையங் கொண்ட அணிக் கோவையை உடையது என முடிவு செய்தார். ராக்சால்டின் யூனிட்செல்லும் (unit cell) கனசதுர வடிவமுடையது. ஒவ்வொரு செல்லும் நான்கு அணுக்களைக் கொண்டதாயுள்ளது. அதாவது நான்கு சோடியம் அயனிகளையும் நான்கு குளோரின் அயனிகளையும் உடையதாக இருக்கிறது. இந்த யூனிட் செல்லில் ஒரு தளத்திற்கும், மற்றொரு தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரம் அணிக் கோவை மாறிலியில் (lattice constant) பாதியாகும். அதாவது $d_{100} = \frac{a}{2}$ ஆகும். ராக்சால்ட் படிகம் உடையும்பொழுது, கன சதுரத் துண்டுகளாகவே உடைகிறது.

ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் உள்ள மொத்த யூனிட் செல்கள் $= \frac{1}{a^3}$ ஒரு கன சென்டிமீட்டரில் உள்ள சோடியம், குளோரின்

அயனிகள் $= \frac{8}{a^3} = \frac{1}{d^3_{100}}$

சோடியம் குளோரைடின் (அதாவது ராக்சால்டின்) மூலக்கூறு எடை எண் $= 23{\cdot}00 + 35{\cdot}46 = 58{\cdot}46$. எனவே $58{\cdot}46$

கிராம் ராக்சால்டில் உள்ள மொத்த அணுக்கள் $2N_0$. இதில் N_0 என்பது அவகாட்ரோவின் எண். இதன் மதிப்பு $6 \cdot 6 \times 10^{23}$ ஆகும்.

ராக்சால்ட்டின் அடர்த்தி எண், $\rho = 2 \cdot 163$

ஒரு கன சென்டிமீட்டர் சதுரத்தில் உள்ள மொத்த அணுக்கள்

$$n = \frac{2N_0\rho}{M} = \frac{1}{d^3_{100}}$$

$$n = 2 \times 6 \cdot 06 \times 10^{23} \times \frac{\rho}{58 \cdot 46} = \frac{1}{d^3_{100}}$$

$$d_{100} = \left(\frac{M}{2N_0\rho}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$$= \left[\frac{58 \cdot 46}{2 \times 6 \cdot 06 \times 10^{23} \times 2 \cdot 163}\right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_{100} = 2 \cdot 914 \times 10^{-8}\,cm$$

அணிக்கோவை மாறிலி

$$a = 5 \cdot 628 \text{ A.U.}$$

மோஸ்லிக்குப் பிறகு, எம். செய்பான் (M. Seigbhan) என்பவர் மேற்கண்ட ராக்சால்ட்டின் d-ன் மதிப்பைத் தரமான மதிப்பாகக் கொண்டார். இந்த மதிப்பை அடிப்படையாகக் கொண்டு, மற்ற படிகங்களின் அணிக்கோவை மாறிலிகளும், எக்ஸ்கதிர்களின் நீளங்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. ராக்சால்ட்டின் d-ன் மதிப்பை $2814 \times$ அலகு எனக்கொள்ளப்பட்டது. இது செய்பானுல் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒரு புதிய அலகாகும்.

ஓர் எக்ஸ் அலகு என்பது ராக்சால்ட்டின் ஒரு தளத்திற்கும், மற்றொரு தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தில் $\frac{1}{2814}$ பங்காகும். அதாவது $\frac{1}{2814} \times d_{100}$ ஆகும். அல்லது ஏறக்குறைய 10^{-11} சென்டிமீட்டருக்கு சமமாகும். மற்ற குவார்ட்ச் (quartz) ஜிப்சம் (gypsum), மைக்கா (mica) போன்ற படிகங்களைப் பயன்

படுத்தினாலும், கால்சைட் படிகம் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப் பட்டது.

மேற்சொன்னதுபோல் மற்ற படிகங்களின் தள இடைவெளித் தூரங்கள் (spacings of the crystal) கணக்கிடப்பட்டன. அவற்றின் மதிப்புகள் கீழே அட்டவணையிட்டுக் காட்டப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 7.

	படிகங்கள்	குறியீடு	(X.U) எக்ஸ் அலகு
(1)	ராக்சால்ட் (Rock Salt)	Na Cl	2814·00
(2)	கால்சைட் (Calcite)	$Ca\,CO_3$	3029·45
(3)	குவார்ட்ச் (Quartz)	$Si\,O_2$	4246·02
(4)	ஜிப்சம் (Gypsum)	$Ca\,SO_4\,2HO_2$	7584·70
(5)	மைகா (Mica)		9942·72

மேற்கண்ட படிகங்களின் தளஇடைவெளி தூரம் (*d*) ஒரு சென்டிகிரேட் வெப்பத்திற்கு எவ்வளவு மாறுகிறது என்பதைக் கீழே உள்ள அட்டவணை காட்டுகின்றது.

அட்டவணை 8.

ராக்சால்ட்	0·11 X. U
கால்சைட்	0·13 X. U
குவார்ட்ஸ்	0·04 X. U
ஜிப்சம்	0·29 X. U
மைகா	0·15 X. U

மேற்கண்ட படிகங்களுக்குப் பதிலாக 'வரைந்த கீற்றணியைக் கொண்டு (ruled gratings) காம்ப்டன், டோன் போன்ற இயற்பியலாளர்கள் எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தை உண்டாக்கினர்கள் என முன் பகுதியில் பார்த்தோம். இதைப் பயன்படுத்தி

எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளங்களைக் கணக்கிட்டதில், அவற்றின் மதிப்பு படிகங்களைக் கொண்டு கணக்கிட்ட அலைநீளங்களின் மதிப்பைவிட 0·2 சதவீதம் அதிகமாக இருந்ததாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. 1935-ல் பார்டீன் (Bearden) என்பவர் கீற்றணியைக் கொண்டு எக்ஸ்கதிரின் அலைநீளத்தைச் கணக்கிட்டு அதைக் கொண்டு கால்ஸைட் படிகத்தின் தளஇடை வெளித் தூரத்தை (d) மதிப்பிட்டதில் அதன் மதிப்பு $3·02560 \times 10^{-8}$ cm. அல்லது 3035·60 X. U. எனக் கணக்கிட்டார். இந்த மதிப்பு முதலில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மதிப்பினின்றும் மாறுபட்டுக் காணப் படுகிறது. முதல் மதிப்பு 3029·4 X. U. இரு மதிப்புகளும் ஒன்றுக இல்லாமல் வேறுபட்டுக் காணப்படுவதின் காரணம் நெடு நாள்களாகக் கண்டுபிடிக்க முடியாமலிருந்தது. பிறகு இதன் காரணத்தைக் கண்டவர் மில்லிகன் (Millikan) என்பவராவர். எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் மதிப்பு $4·774 \times 10^{-10}$ எலக்ட்ரோஸ்டாடிக் யூனிட் எனக் கொள்வது சரியல்ல என்றும், அதற்கு மாருக அதன் மதிப்பை $4·802 \times 10^{-10}$ எலக்ட்ரோஸ்டாடிக் யூனிட்எனக் கண்டார். N_0-ன் மதிப்பு $6·6`4 \times 10^{23}$-க்குப் பதிலாக $6·0238 \times 10^{-23}$ என மாறியது. இதைக் கொண்டு முன் கூறியபடி கால்ஸைட் படிகத்தின் தள இடைவெளி தூரம் 3035·60 X. U. எனக் கணக்கிடப்பட்டது.· இந்த மதிப்பு பார்டீன் கண்டுபிடித்த மதிப்பு. இதைக் கொண்டு மற்ற படிகங்களின் தள இடைவெளி தூரம் கணக்கிடப் பட்டது. அவற்றின் மதிப்புகள் கீழே தரப்பட்டுள்ளன.

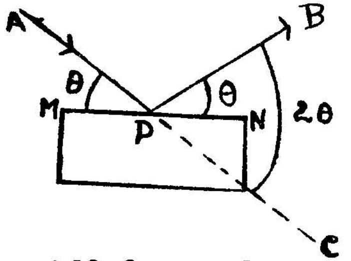
அட்டவணை 9.

படிகங்கள்	குறியீடு	மாறுதல் செய்யப்பட்ட d-ன் மதிப்பு $\times 10^{-8}$cm
ராக்சால்ட்	$NaCl$	2·81971
கால்ஸைட்	$CaCO_3$	3·03560
குவார்ட்ச்	SiO_2	4·25465
ஜிப்சம்	$CaSO_4{}^{2}H_2O$	7 6001
மைக்கா	...	9·9629

டபிள்யூ. எல். பிராக் எக்ஸ்கதிரின் விளிம்பு வளைவுத் தன்மையைக் கருவியாகக் கொண்டு சோடியம் குளோரைடு, பொட்டா

ஷியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் ப்ரோமைடு, பொட்டாசியம் அயோடைட் போன்ற படிகங்களின் இயலமைப்பை அறிய முயன்றார். எக்ஸ்கதிரின் விளிம்பு வகைவால் கிடைக்கக் கூடிய குறிப்புகளை மட்டும் கொண்டு ஒரு படிகத்தின் அணிக்கோவை இயலமைப்பையும் (lattice structure), படிகத்தின் இடத் தொகுப்பு களையும் உறுதிப்படுத்த முடியாது என அறிபப்பட்டது. ஒரு படிகத்தின் வடிவம் (shape), அதனுடைய இரசாயனச் சேர்க்கை, இப் படிகத்தை ஒத்த மற்ற படிகங்களின் இயலமைப்பிற்கும் இதற்கும் உள்ள தொடர்பு ஆகிய இவை போன்ற பல குறிப்பு களைக் கொண்டே ஒரு படிகத்தின் இயலமைப்பைச்சரியாக உறுதிப் படுத்தமுடியும்.

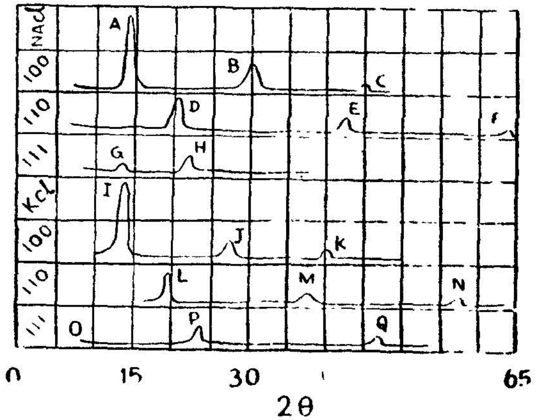
பிராக்கின் நிறமாலைமானியில் உள்ள வட்ட வடிவமான தாங்கியில், ராக்சால்ட் அல்லது சோடியம் குளோரைடுப் படிகத் தைப் பொருத்தி, அப் படிகத்தின் (100) என்ற பிளவுறு பக்கம் (clevage face), அத் தாங்கியின் நிலைக்குத்து அச்சைப் (vertical axis) பெற்றிருக்குமாறு செய்ய வேண்டும். பக்கத்தில் உள்ள படத்தில் காட்டியபடி, MN என்ற படிக முகத்தில் எக்ஸ்கதிர்க் கற்றைகள் மூன்று அல்லது நான்கு பாகை 3 or 4° glancing angle) தொடுகோணத்தில் விழுவதாகக் கொள்வோம். அயனிக் கலத்தை மெதுவாக நகர்த்தி, அயனி ஓட்டம் (ionisation current) கணக்கிடப்படுகிறது.



படம் 63. சோடியம் குளோரைடு படிகத்தின் படிகமுகம்

அயனிக் கலம் BPC என்ற கோணத்தைச் சுற்றி மெதுவாக நகர்த்தப்படுகிறது. ஒவ்வொரு நிலையிலும் அயனி ஓட்டம் கணக் கிடப்படுகிறது. BPC என்ற கோணத்தைச் சுற்றி அயனிக் கலத்தை நகர்த்தும்போது எந்நிலையில் பெரும அயனி ஓட்டம் (maximum ionisation current) கிடைக்கிறதோ, அந்த இடத்தில் அயனிக் கலத்தை நிலையாக நிறுத்தி, உயர் அயனி ஓட்டத்தின் அளவு கணக்கிடப்படுகிறது. அயனிக் கலத்தில் உயர் அயனி ஓட்டத்தைக் காட்டும்பொழுது. எக்ஸ்கதிர்களின் தொடுகோணம் θ_1 எனக் கொள்வோம். உதாரணமாக θ-வின் மதிப்பு 5° இருப்ப தாகக் கொள்வோம். மறுபடியும் அயனிக் கலத்தை மெதுவாக 5°-க்கும் அதிகமாக நகர்த்திக் கொண்டே போனால், மற்றோர் இடத்தில் அயனிக்கலம் உயர் அயனி ஓட்டத்தைக் காட்டும். அப் பொழுது தொடுகோணம் θ_2 ஆக இருப்பதாகக்கொள்வோம். இதே

போல் அயனிக் கலத்தை நகர்த்திக் கொண்டு போகும்பொழுது, எந்த எந்த இடத்தில் அயனிக் கலம் பெரும அயனி ஓட்டத்தைக் காட்டுகிறதோ, அப்பொழுதுள்ள தொடுகோணமும், பெரும அயனி ஓட்டத்தின் அளவும் அளக்கப்படுகிறது. பிறகு படிகத்தின் (110), (111) என்ற இரு பிளவுறு பக்கங்களிலும் (clevage planes) எக்ஸ்கதிர்கள் விழுமாறு செய்து, அயனிக் கலத்தைக் கொண்டு ஒவ்வொரு நிலையிலும் அயனி ஓட்டம் அளக்கப்படுகிறது. அயனிக் கலத்தைக் நகர்த்திக் கொண்டே போகும்பொழுது, சில இடங்களில் அயனிக்கலம் பெரும் அயனி ஓட்டத்தைக் காட்டும். பிறகு தொடு கோணத்தை X அச்சிலும், எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவை Y அச்சிலும் (அயனி ஓட்டம் எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவைப் பொறுத்திருப்பதால் வரைபடத்தில் அயனி ஓட்டத்தையே கதிர்களின் செறிவுக்குப் பதிலாக) எடுத்துக்கொண்டு வரைபடம் ஒன்று வரையப்படுகிறது. இதேபோன்று சோடியம் குளோரைடுப் படிகத்திற்குப்பதிலாகப் பொட்டாசியம் குளோரைடுப் படிகத்தைப் பிராக்கின் நிறமாலைமானியில் பொருத்தி மேற்சொன்னவாறு அயனிக் கலத்தைக் கொண்டு, அயனி ஓட்டம் அளக்கப்படுகிறது. பிறகு எக்ஸ்கதிர்களின் செறிவிற்கும், தொடு கோணத்திற்கும் தொடர்புடையதாக வரைபடம் ஒன்று முன்போல் வரையப்படுகிறது. சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் குளோரைடு ஆகிய இவ்விரண்டு படிகங்களுக்கும் உரிய தொடுகோணம், எக்ஸ்கதிரின் செறிவு இவற்றின் தொடர்புடைய வரைபடங்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன.



படம் 64. சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாஷியம் குளோரைடு ஆகிய இரு படிகங்களினால் எதிரொளித்த எக்ஸ்கதிர்களினால் உண்டாக்கப்பட்ட பெரும அயனி ஓட்டத்தைக் காட்டும் படம்

படத்தில் *A, B, C; D, E, F; I, J, K; L, M, N* போன்ற புள்ளிகள் சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் குளோரைடு ஆகிய இரு படிகங்களின் (100) (110) என்ற இரு முகங்கள் எதிரொளித்த எக்ஸ்கதிர்களினால் உண்டாக்கப்பட்ட பெரும அயனி ஓட்டத்தைக் குறிப்பனவாக உள்ளன.

A, B, C என்னும் பெரும அயனி ஓட்டத்தைக் குறிப்பிடும் தொடுகோணங்கள் முறையே θ_A, θ_B, θ_C எனக் கொள்வோம். இதேபோல் மற்ற உயர் அயனி ஓட்டத்தைக் குறிக்கும் தொடு கோணங்களை θ_D, θ_E, θ_F, θ_I, θ_J, θ_K, θ_L, θ_M, θ_N எனக் குறிப்பிடலாம்.

பிராக்கின் விதிப்படி

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

$$d = \frac{n\lambda}{2\sin\theta}$$

இதில் *n* என்பது எதிரொளிப்பு வரிசை. படத்தில் *A, B, C* என்பவை முறையே சோடியம் குளோரைடு (100) என்ற படிகத்தின் முதல், இரண்டாவது, மூன்றாவது எதிரொளிப்பு வரிசையைக் குறிக்கின்றன.

இதைப்போல் மற்றவற்றையும் கொள்ளலாம். சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் குளோரைடு ஆகிய இவ்விரு படிகங்களின்மீது விழுந்த எக்ஸ்கதிர்களின் அலைநீளம் 0·71 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகுடையது எனக்கொண்டு, ஒவ்வொரு புள்ளிக்கும் உரிய பிராக்கின் விதியைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$r^d(100) = \frac{\lambda}{2\sin\theta_A} = \frac{2\lambda}{2\sin\theta_B} = \frac{3\lambda}{2\sin\theta_C} \quad \ldots \quad (1)$$

இதில் r^d (100) என்பது சோடியம் குளோரைடின் (100) என்ற தளத்திற்கும் இதற்கு இணையாக இருக்கும் மற்றொரு தளத்திற்கும் உள்ள தளஇடைவெளி தூரத்தைக் குறிப்பிடுகிறது. λ-வும், θ_A, θ_B, θ_C ஆகிய இம் மூன்று கோணங்களும் தெரியுமாதலால் r^d (100) ஐக் கணக்கிடலாம்.

இதேபோன்று

$$r^d(110) = \frac{\lambda}{2\sin\theta_D} = \frac{2\lambda}{2\sin\theta_E} = \frac{3\lambda}{2\sin\theta_F} \quad \ldots \quad (2)$$

இதில் r^d (110) என்பது சோடியம் குளோரைடின் (110) என்ற தளத்திற்கும் இதற்கு இணையாக இருக்கும் மற்றொரு தளத்திற்கும் இடையிலுள்ள தூரத்தைக் குறிப்பிடுகிறது. மேற்குறிப்பிட்டது போல் r^d (110) கணக்கிட்டு அறியலாம்.

இதுபோல் பொட்டாசியம் குளோரைடுக்கும் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம் :

$$s^d(100) = \frac{\lambda}{2\sin\theta_I} = \frac{2\lambda}{2\sin\theta_J} = \frac{2\lambda}{2\sin\theta_K} \quad \dots (3)$$

$$s^d(110) = \frac{\lambda}{2\sin\theta_L} = \frac{2\lambda}{2\sin\theta_M} = \frac{3\lambda}{2\sin\theta_N} \quad \dots (4)$$

இதிலிருந்து

$$r^d(100) : r^d(110) : r^d(111) = \frac{\lambda}{2\sin\theta_A} : \frac{\lambda}{2\sin\theta_D}$$

$$= \frac{\lambda}{2\sin\theta_H} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \dots (5)$$

எனவும்,

$$s^d(100) : s^d(110) : s^d(111) = \frac{\lambda}{2\sin\theta_I} : \frac{\lambda}{2\sin\theta_L} :$$

$$\frac{\lambda}{2\sin\theta_F} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \dots (6)$$

எனவும் கணக்கிடப்பட்டிருக்கிறது.

மேற்கண்ட சமன்பாடுகளிலிருந்து, எக்ஸ்-கதிரின் அலைநீளம் தெரிந்தால் சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் குளோரைடு ஆகிய இவ்விரு படிகங்களின் தள இடைவெளித் தூரங்களைக் (interplanar distance) கணக்கிடலாம்.

முன்பக்கத்தில் வரைந்த வரைபடங்களில் குறிப்பிட்டிருக்கும் *A, B, C, D, E, F* போன்ற உச்சிப் புள்ளிகளைக் கொண்டு பகுத்தாய்ந்தால் மேற்குறிப்பிட்ட படிகங்களின் யூனிட் செல்கள் '*a*' என்ற அலகு பக்கங்களுடைய கனசதுர வடிவமானவையென்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. சோடியம் குளோரைடின் (ராக் சால்ட்) அணிக்கோவை மாறிலி முன்பகுதியில் கூறியதுபோல் கணக்கிடப்படுகிறது. இதனுடைய அணிக்கோவை மாறிலி (lattice constant) 5·628 ஆங்ஸ்ட்ராங் அலகு அல்லது 5628 x.u.

என முன்பு பார்த்தோம். இதேபோன்று பொட்டாசியம் குளோரைடின் அணிக்கோவை மாறிலியை முன்னுள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து (1 முதல் 4 ஆவது சமன்பாடு வரை) கணக்கிடலாம். அவ்வாறு செய்ததில் பொட்டாசியம் குளோரைடின் அணிக் கோவை மாறிலி 6280 x.u. எனக் கணக்கிடப்படுகிறது.

மேலும் சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் குளோரைடு ஆகிய இவ்விரு படிகங்களும் அயனிப் படிகங்களைச் சார்ந்தவை. ஒவ்வொரு சோடியம் அணுவோடும் சேர்ந்துள்ள இணைதிறனுள்ள எலக்ட்ரான் (valence electrons), சோடியம் அணுவிலிருந்து பிரிந்து, குளோரின் அணுவோடு ஒட்டிக் கொள்கிறது எனப் பரிசோதனைமூலம் தெரிய வருகிறது. இதனால் சோடியம் குளோரைடு என்னும் படிகத்தில் சோடியம் நேர் அயனியாகவும் (positive ion), குளோரின் எதிர் அயனியாகவும் (negative ion) மாறிவ்டுகிறது. இதே போன்று பொட்டாசியம் குளோரைடு என்னும் படிகத்தில் பொட்டாசியம் நேர் அயனியாகவும், குளோரின் எதிர் அயனியாகவும் மாறிவிடுகிறது. ஒவ்வொரு சோடியம் அணுவும் ஆறு குளோரின் அணுக்களாலும், அதேபோல் பொட்டாசியம் அணுவும் ஆறு குளோரின் அணுக்களாலும் சூழப்படுகிறது. யூனிட் செல்லில் சோடியம் அல்லது பொட்டாசியம் அயனிகளின் ஆயத்தொலைகள் (co-ordinates) (000), ($\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0), ($\frac{1}{2}$ 0 $\frac{1}{2}$), (0 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$). யூனிட் செல்லில் குளோரின் அயனிகளின் ஆயத் தொலைகள் ($\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$), (0 0 $\frac{1}{2}$), (0 $\frac{1}{2}$ 0), ($\frac{1}{2}$ 0 0) ஆகும்.

4. அணு இயலமைப்புக் காரணி

(The Atomic Structure Factor)

சோடியம் குளோரைடு, பொட்டாசியம் குளோரைடு ஆகிய இரு படிகங்களின் வெவ்வேறு பக்கங்களினால் எதிரொளிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் செறிவின் அளவு பிராக் நிறமாலை மானியில் உள்ள அயனிக்கலம் கொடுக்கும் அயனி ஓட்டம்மூலமாக அளக்கப்படுகிறது. அயனிக் கலத்திற்குப் பதிலாக 'நிறமாலை வரைவி'யைப் (spectrograph) பயன்படுத்தினால் நிறமாலை வரைவியிலுள்ள ஒளிப் படத் தகட்டில் (photographic plate) விளிம்பு வளைவுக் கோடுகள் பதியும். பிறகு மைக்ரோ ஃபோட்டோமீட்டர் (micro photometer) என்னும் கருவியைக் கொண்டு தகட்டில் பதிந்த கோடுகளின் செறிவை மதிப்பிடலாம்.

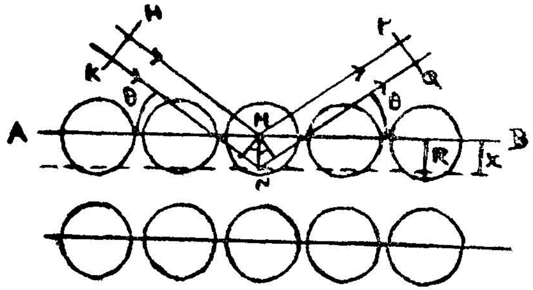
பொதுவாக ஒளிப்படத் தகட்டில் பதிந்த கோடுகளின் செறிவு எதிரொளிப்புச் செய்த குறிப்பிட்ட அணுவையோ அல்லது அந்தக் குறிப்பிட்ட அணுவிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையையோ பொறுத்திருக்கும்.

முன் பகுதியில் பிராக்கின் வழியில் ஒரு படிகத்தில் தள இடைவெளித் தூரங்களை எவ்விதம் கணக்கிடுவது எனப் பார்த்தோம். எக்ஸ்-கதிர் விளிம்பு வளைவு சோதனை செய்ததில் படிகத்தில் அணுக்களின் விட்டங்களின் மதிப்புகள் தள இடைவெளித் தூரங்களின் மதிப்புகளோடு ஒத்து இருப்பதுபோல் தெரிகிறது.

ஒரு படிகத்தில் எல்லா அணுக்களும் அடுக்கி வைக்கப்பட்ட பந்துகள்போல் இருப்பதாகக் கொள்வோம். படம் 65 இந் நிலையைக் காட்டுகிறது. இப் படத்தின்படி எக்ஸ்-கதிர் விளிம்பு வளைவின் சரியான கொள்கை எனபது, ஒரு குறிப்பிட்ட அணுவிலுள்ள எல்லா எலக்ட்ரான்களாலும் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் குறுக்கீட்டு விளைவையும் (interference effects) உட்கொண்டதாக இருக்கவேண்டும் எனத் தெரிகிறது.

படத்தில் *AB* என்பது படிக அணிக் கோவைத் தளம். இத் தளம் அணுக்களின் நடுவே செல்வதாகக் கொள்வோம். இத்

தளத்தின் நடுவேயிருக்கும் ஓர் அணுவை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த அணுவில் M என்ற இடத்தில் சில எலக்ட்ரான்களும்



படம் 65. படிகத்தில் அணுக்களின் அமைப்பு

N என்ற இடத்தில்சில எலக்ட்ரான்களும் இருப்பதாகக் கொள்வோம். N என்ற இடத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்கள் M என்ற இடத்திலிருந்து x தூரம் தள்ளி உள்ளன. MP என்னும் எக்ஸ்-கதிர்கள் M என்ற இடத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்களால் விளிம்பு விளைவு செய்யப்பட்டவை. இதைப்போல் NQ என்னும் எக்ஸ்-கதிர்கள், N என்ற இடத்திலுள்ள எலக்ட்ரான்களால் விளிம்பு விளைவு செய்யப் பட்டவை. MP என்னும் எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும், NQ என்னும் எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும் இடையே தலைக் குறைபாடு (phase lag) உண்டு. இவ்விரு எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும் இடையே உள்ள பாதை வேறுபாடு (path difference) $2x \sin\theta$ ஆகும். E_x என்பதை NQ என்னும் எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சாகவும் (amplitude), E_o என்பதை MP என்னும் எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சாகவும் கொள்வோம்.

இரண்டு வீச்சுகளையும் சேர்த்துத் தொகு பயன் வீச்சைக் (resultant amplitude) கணக்கிடும்பொழுது,

$E_x = E_o \cos\delta$ என எழுதலாம். இதில் δ என்பது MP, NQ என்னும் இரு எக்ஸ்-கதிர்களுக்கும் உள்ள கட்ட வேறுபாடு (phase difference).

λ என்பது பாதை வேறுபாடானல், கட்ட வேறுபாடு 2π ஆகும். எனவே, $2x \sin\theta$ பாதை வேறுபாடானல், கட்ட வேறுபாடு

$$\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) 2x \sin\theta = \frac{4\pi x \sin\theta}{\lambda}$$

எனவே,

$$E_x = E_s \cos\left(\frac{4\pi x}{\lambda} \sin\theta\right)$$

மேற்கண்டவற்றிலிருந்து ஓர் அணுவிலுள்ள எல்லா எலக்ட்ரான்களும் எக்ஸ்-கதிர்களை ஒரே கட்டத்தில் சிதறடிக்கச் செய்வதில்லை என்று அறிகிறோம். ஓர் அணுவால் மொத்தத்தில் சிதறடிக்கப்படும் எக்ஸ்-கதிர்களின் அலைவீச்சு அந்த அணுவிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானால் சிதறடிக்கப்படுகின்ற அலைவீச்சைப் போல் f_0 மடங்காகும். f_0 என்பதை அணு இயலமைப்புக் காரணி எனக் கூறுகிறோம்.

அணு இயலமைப்புக் காரணி என்பது ஓர் அணுவால் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர் அலைகளின் வீச்சிற்கும் அந்த அணுவிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானால் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சிற்கும் உள்ள விகித சமமேயாகும். இதை f_0 என்று குறிப்பது வழக்கம்.

அணு இயலமைப்புக் காரணிக்கும், அணுவில் எலக்ட்ரான்களின் பரவலுக்கும் உள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம் :

$$f_0 = \int_0^\infty u(r)\,\frac{\sin kr}{kr}\,dr \qquad \dots (1)$$

இதில் $k = 4\pi\left(\frac{\sin\theta}{\lambda}\right)$, λ என்பது எக்ஸ்-கதிர்களின் அலை நீளங்களைக் குறிக்கும். $u(r)$ என்பது அணுவின் நடுவிலிருந்து r, $(r + dr)$ என்ற தூரங்களுக்கு இடையிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் அடர்த்தியாகும். θ-வின் மதிப்புச் சிறியதாயிருக்கும்பொழுது f_0-ன் மதிப்புக் கீழ்கண்டவாறு இருக்கும் :

$$f_0 = \int_0^\infty u(r)dr = Z$$

f_0-ன் மதிப்பு $\left(\frac{\sin\theta}{\lambda}\right)$வைச் சார்ந்திருக்கிறது.

தொடர்பு (1)-ல் குறிப்பிட்டுள்ள f_0-ன் மதிப்பு குறிப்பிட்ட அணு சார்பிலாச் சுழி (absolute zero) வெப்பநிலையில் உள்ள போது இருக்கும் மதிப்பாகும். வெப்பநிலை மாற மாற, f_0-ன் மதிப்பும் மாறும். குறிப்பிட்ட வெப்பநிலையில் ஓர் அணுவின் இயலமைப்புக் காரணி f எனக் கொண்டால்,

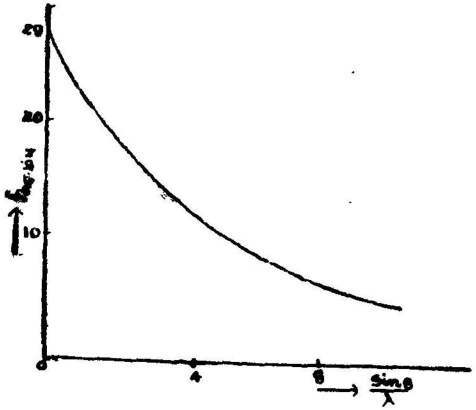
$$f = f_0 \, e^{-M}$$

இதில் $M = \dfrac{6h^2}{mk\theta}\left(\dfrac{\sin\theta}{\lambda}\right)^2\left[\dfrac{\phi(x)}{x}+\dfrac{1}{4}\right]$

k = போல்ஸ்மென் மாறிலி, θ என்பது டிபையின் சிறப்பு வெப்பநிலை (Debye's characteristic temperature).

$x = \dfrac{\theta}{T}$, $\dfrac{\phi(x)}{x} = \dfrac{\pi^2 T^2}{6\theta^2}$

$\dfrac{\sin\theta}{\lambda}$-ன் மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாக, f_0-ன் மதிப்பு அதிகமாகிறது. செம்பின் (copper) $\left(\dfrac{\sin\theta}{\lambda}\right)$, f_0 ஆகியவற்றின் தொடர்பைக் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள வரைபடம் விளக்குகிறது.



படம் 66.

செம்பின் $\dfrac{\sin\theta}{\lambda}$, f_0 இவற்றின் தொடர்பைக் காட்டும் வரைபடம்.

சீசியம் (cesium), சோடியம் (sodium), மக்னீசியம் (magnesium) போன்ற பொருள்களின் வெவ்வேறு $\dfrac{\sin\theta}{\lambda}$ மதிப்புகளுக்குரிய

அணு இயலமைப்புக் காரணி (atomic structure factor) அட்டவணை 7-ல் தரப்பட்டுள்ளது.

அணு எண் 55-க்கு மேலாக உள்ள கனமான மூலகங்களின் (heavier elements), அணு இயலமைப்புக் காரணியைக் கண்டு பிடிக்கச் சீசியத்தின் f_0-ன் மதிப்பை, $\frac{Z}{55}$ ஆல் பெருக்க வேண்டும். Z என்பது அணு இயலமைப்புக் காரணி கண்டுபிடிக்க வேண்டிய மூலகங்களின் அணு எண் (atomic number).

அட்டவணை 10.

'சார்பிலாச் சுழி' வெப்பநிலையில் அணு இயலமைப்புக் காரணிகள்
(The Atomic structure factors at absolute zero)

$\frac{\sin\theta}{\lambda}$	0	0·1	0·2	0·3	0·4	0·5	0·6	0·7	0·8	0·9	1·0	1·1
1 H	1·0	0·51	0·48	0·25	0·13	0·07	0·04	0·03	0·02	0·01	0·00	0·00
2 He	2·0	1·88	1·46	1·05	0·75	0·52	0·35	0·24	0·18	0·14	0·11	0·09
3 Li^{+}	2·0	1·96	1·8	1·5	1·3	1·0	0·8	0·6	0·5	0·4	0·3	0·3
3 Li	3·0	2·2	1·8	1·5	1·3	1·0	0·8	0·6	0·5	0·4	0·3	0·3
4 Be^{++}	2·0	2·0	1·9	1·7	1·6	1·4	1·2	1·0	0·9	0·7	0·6	0·5
4 Be	4·0	2·9	1·9	1·7	1·6	1·4	1·2	1·0	0·9	0·7	0·6	0·5
5 B	5·0	3·5	2·4	1·9	1·7	1·5	1·4	1·2	1·2	1·0	0·9	0·7
6 C	6·0	4·6	3·0	2·2	1·9	1·7	1·6	1·4	1·3	1·2	1·0	0·9
7 N	7·0	5·8	4·2	3·0	2·3	1·9	1·65	1·55	1·5	1·4	1·3	1·15
8 O	8·0	7·1	5·3	3·9	2·9	2·2	1·8	1·6	1·5	1·4	1·35	1·25
8 O^{-}	10·0	8·0	5·5	3·8	2·7	2·1	1·8	1·5	1·5	1·4	1·35	1·25
9 F^{-}	10·0	8·7	6·7	4·8	3·5	2·8	2·2	1·9	1·7	1·55	1·5	1·35
9 F	9·0	7·8	6·2	4·45	3·35	2·65	2·15	1·9	1·7	1·6	1·5	1·35
10 Ne	10·0	9·3	7·5	5.3	4·4	3·4	2·65	2·2	1·9	1·65	1·55	1·5
11 Na^{+}	10·0	9·5	8·2	6·7	5·25	4·05	3·2	2·65	2·25	1·95	1·75	1·6
11 Na	11·0	9·65	8·2	6·7	5·25	4·05	3·2	2·65	2·25	1·95	1·75	1·6
12 Mg^{++}	10·0	9·75	8·6	7·25	6·05	4·8	3·85	3·15	2·25	2·2	2·0	1·8
12 Mg	12·0	10·5	8·6	7·22	6·05	4·8	3·85	3·15	2·25	2·2	2·0	1·8
13 Al^{+++}	10·0	9·7	8·9	7·8	6·65	5·5	4·45	3·65	3·1	2·65	2·3	2·0
13 Al	13·0	11·0	8·95	7·75	6·6	5·5	4·5	3·7	3·1	2·65	2·3	2·0

14 Si^{++++}	10·0	9·75	9·15	8·25	7·15	6·05	5·05	4·2	3·4	2·95	2·6	2·3
14 Si	14·0	11·4	9·4	8·2	7·15	6·1	5·1	4·2	3·4	2·95	2·6	2·3
15 P	15·0	12·4	10·0	8·45	7·45	6·5	5·65	4·8	4·05	3·4	3·0	2·6
16 S	16·0	13·6	10·7	8·85	7·85	6·85	6·0	5·25	4·5	3·9	3·35	2·9
17 Cl	17·0	14·6	11·3	9·25	8·05	7·25	6·5	5·75	5·05	4·4	3·85	3·35
17 Cl^{-}	18·0	15·2	11·5	9·3	8·05	7·25	6·5	5·75	5·05	4·4	3·85	3·35
18 A	18·0	15·9	12·6	10·4	8·7	7·8	7·0	6·2	5·4	4·7	4·1	3·6
19 K^{+}	18·0	16·5	13·3	10·8	8·85	7·75	7·05	6·44	5·9	5·3	4·8	4·2
20 Ca^{++}	18·0	16·8	14·0	11·5	9·3	8·1	7·35	6·7	6·2	5·7	5·1	4·6
26 Fe	26·0	23·1	19·1	15·6	13·4	11·7	10·2	8·9	7·9	7·1	6·4	5·8
29 Cu	29·0	25·8	21·4	17·8	15·2	13·3	11·7	10·2	9·1	8·1	7·3	6·7
35 Br	35·0	31·5	26·6	22·2	19·0	16·7	14·8	13·0	11·6	10·4	9·5	8·6
36 Kr	36·0	33·0	28·0	24·2	21·2	18·9	16·7	14·4	12·3	10·6	9·2	8·3
37 Rb^{+}	36·0	33·6	28·7	24·6	21·4	18·9	16·7	14·6	12·8	11·2	9·9	8·9
47 Ag	47·0	43·0	36·9	31·3	26·8	23·7	21·3	19·0	17·0	15·3	13·9	12·8
54 Xe	54	50	48	37	32	28	25	23	20	18	17	15
80 Hg	80	75	66	58	50	45	41	36	33	30	28	26
55 Cs	55·0	50·7	43·8	37·6	32·4	28·7	25·8	23·2	20·8	18·8	17·0	15·6
$\frac{\sin\theta}{\lambda}$ =	1·2	1·3	1·4	1·5	1·6	1·7	1·8	1·9	2·0			
55 Cs	14·5	13·2	12·3	11·3	10·4	9·6	9·2	8·6	8·1			

5. படிக இயலமைப்புக் காரணி
(The Crystal Structure Factor)

இதற்குமுன் அணு இயலமைப்புக் காரணியைப்பற்றிப் பார்த்தோம். ஒரு யூனிட் செல்லில் ஓர் அணு இருந்தால் அந்த அணுவால் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சை, அந்த அணுவிலுள்ள ஓர் எலக்ட்ரானால் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சோடு ஒப்பிட்டுக் கூறினோம். ஒரு யூனிட் செல்லில் ஓர் அணுவிற்கு மேலாகப் பல அணுக்கள் இருப்பின், இந்தப் பல அணுக்களால் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சை ஓர் எலக்ட்ரானால் சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்-கதிர்களின் வீச்சோடு ஒப்பிட்டு, இந்த இரண்டிற்கும் உள்ள விகிதம் படிக இயலமைப்புக் காரணி (crystal structure factor) என வழங்கப்படுகிறது.

ஒரு யூனிட் செல்லில் N அணுக்கள் இருப்பதாகக் கொள்வோம். f_n என்பது n என்ற அணுவின் அணு இயலமைப்புக் காரணி.

படிக இயலமைப்புக் காரணி,

$$F = \sum_{n=1}^{N} f_n e^{2\pi i \left(\frac{hx}{a} + \frac{\quad}{b} + \frac{\quad}{c} \right)}$$

அதாவது

$$F = \sum_{n=1}^{N} f_n e^{2\pi i (hx_n + ky_n + lz_n)}$$

குறிப்பிட்ட புள்ளியின் ஆயத் தூரங்கள் (co-ordinates) x, y, z என்பவை அச்சு நீளங்களான (axial lengths) a, b, c என்பவற்றின் பின்னப் பகுதிகளாகச் (fractional parts) சொல்லப்பட்டு

கின்றன. மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டில் i என்பது கற்பனை எண் (imaginary number). $i = \sqrt{-1}$.

F என்பது சிக்கற்கணியம் (complex quantity). F தொகு பயன் அலையின் (resultant wave) வீச்சையும் (amplitude), கட்டத்தையும் (phase) குறிக்கிறது. இதனுடைய தனி மதிப்பு (absolute value) $|F|$, தொகுபயன் அலையின் வீச்சின் மதிப்பைக் கொடுக்கிறது.

$$|F| = \frac{\text{ஒரு யூனிட் செல்லில் உள்ள எல்லா அணுக்களால் சிதற டிக்கப்பட்ட அலையின் வீச்சு}}{\text{அணுவில் உள்ள ஓர் எலக்ட்ரானால் சிதறடிக்கப்பட்ட அலையின் வீச்சு}}$$

யூனிட் செல்லில் உள்ள எல்லா அணுக்களாலும் பிராக்கின் விதிக் குட்பட்டு சிதறடிக்கப்பட்ட எக்ஸ்–கதிர்களின் செறிவு $|F|^2$-க்குச் சமம்.

ஒரு யூனிட் செல்லில் 1, 2, 3 என்று N அணுக்கள் இருப்ப தாகக் கொள்வோம். அவற்றின் ஆயத் தூரங்கள் $x_1\ y_1\ z_1$, $x_2\ y_2\ z_2$, $x_3\ y_3\ z_3$, $x_4\ y_4\ z_4$ என இருக்கட்டும். ஒவ்வோர் அணு வின் இயலமைப்புக் காரணி f_1, f_2, f_3......என்பதாக இருக்கட்டும். படிக இயலமைப்புக் காரணி

$$F = f_1 e^{2\pi i (hx_1 + ky_1 + lz_1)} + f_2 e^{2\pi i (hx_2 + ky_2 + lz_2)} + f_3 e^{2\pi i (hx_3 + ky_3 + lz_3)}$$

இதைச் சுருக்கமாகக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$F_{hkl} = \sum_{1}^{n} f_n e^{2\pi i (hx_n + ky_n + lz_n)} \quad \dots \quad (1)$$

படிக இயலமைப்புக் காரணி கணக்கிடுவதற்குப் பயன்படும் சில தொடர்புகள்

$$e^{\pi i} = e^{3\pi i} = e^{5\pi i} = -1$$

$$e^{2\pi i} = e^{4\pi i} = e^{6\pi i} = +1$$

பொதுவாக

$e^{\pi n i} = (-1)^n$ இதில் n என்பது ஏதாவது ஒரு முழு எண்.

$e^{\pi n i} = e^{-\pi n i}$ இதில் n என்பது ஏதாவது ஒரு முழு எண்.

$$e^{ix} + e^{-ix} = 2\cos x$$

படிக இயலமைப்புக் காரணி கணக்கீடுகள்

மேற் குறிப்பிட்ட ஒன்றுவது சமன்பாட்டைக் கொண்டு படிக இயலமைப்புக் காரணி எவ்விதம் கணக்கிடுவது என்பதைக் கீழ்க் கண்ட உதாரணங்களால் விளக்குவோம்.

(a) ஒரு யூனிட் செல்லில் ஒரே ஓர் அணு ஆதியில் (origin) இருப்பதாகக் கொள்வோம். அதனுடைய ஆயத் தொலைகள் (000). இதனுடைய படிக இயலமைப்புக் காரணி

$$F = f e^{2\pi i (0)} = f$$

$$F^2 = f^2$$

(b) பக்கமையங்கொண்ட யூனிட் செல்லைப்பற்றி முன் பார்த்தோம். இந்த யூனிட் செல் இரண்டு அணுக்களைப் பெற்றிருக்கிறது. இதனுடைய ஆயத்தொலைகள் (000), $(\frac{1}{2}\,\frac{1}{2}\,0)$.

$$F = f e^{2\pi i (0)} + f e^{2\pi i \left(\frac{h}{2} + \frac{k}{2}\right)}$$

$$= f\left(1 + e^{\pi i (h+k)}\right)$$

மேற்கண்ட தொடர்பிலுள்ள F-ன் மதிப்பை எளிதாகக் கண்டுபிடிக்கலாம். இத் தொடரிலுள்ள $(h+k)$-ன் மதிப்பு ஒரு முழு எண்ணாகும்.

இங்கே F ஒரு சிக்கற்கணிய மல்லாதது; உண்மையான எண் ஆகும்.

h, k இவற்றின் மதிப்பு ஒற்றைப்படை எண் எனக் கொள்வோம். இரண்டு ஒற்றைப்படை எண்களின் கூடுதல், இரட்டைப் படை எண்ணாக மாறிவிடுகிறது, மாறாக, h, k இவற்றின் மதிப்பு

இரட்டைப் படை எண் எனக் கொள்வோம். இவற்றின் கூடு தலும் இரட்டைப்படை எண்ணாகும்.

ஆகையால் $e^{\pi i(h+k)} = +1$ ஆகும்.

எனவே

$$F = f(1+1) = 2f$$
$$F^2 = 0$$

மாறாக, h ஒற்றைப்படை எண்ணாகவும், k இரட்டைப்படை எண் ணாகவும் இருந்தால், இவை கலப்புடையவை என வழங்கப்படு கின்றன. இவற்றின் கூடுதல் ஒற்றைப்படை எண்ணாகும்.

ஆகையால்,

$$F = 0$$
$$F^2 = 0$$

இதில் h ஒற்றைப்படை எண்ணாகவும் k இரட்டைப்படை எண்ணாக வும், அல்லது h இரட்டைப் படை எண்ணாகவும், k ஒற்றைப்படை எண்ணாகவும் இருக்கலாம்.

இதேபோல் (111), (112), (113), (021), (022), (023) என்ற ஆடித் தொலைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களின் F-ன் மதிப்பு $2f$ ஆகும்.

இதேபோல் 011, 012, 013, 101, 102, 103 என்ற இவைகளிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படும் கதிர்களின் F-ன் மதிப்பு 0 ஆகும்.

அடுத்து உருவ மையப்படிகத்தின் படிக இயலமைப்புக் காரணி யைக் கணக்கிடலாம். இப் படிகத்தின் யூனிட் செல் இரு அணுக் களைப் பெற்றிருக்கின்றது.

$$F = f e^{2\pi i(0)} + f e^{2\pi i\left(\frac{h}{2} + \frac{k}{2} + \frac{l}{2}\right)}$$

$$= f\left[1 + e^{\pi i(h+k+l)}\right]$$

$F = 2f$ [$(h+k+l)$-ன் மதிப்பு இரட்டைப்படை எண்ணாயிருக்கும்பொழுது]

$$F^2 = 4f^2$$

$F = 0$ [($h + k + l$)-ன் மதிப்பு ஒற்றைப்படை எண்ணாயிருக்கும்பொழுது]

$F^2 = 0$

வடிவ அமைப்பைக் கொண்டு (from geometrical consideration) பக்க மையங் கொண்ட யூனிட் செல் (001) எதிரொளிப்பைச் செய்யுமென்றும், உருவ மையங் கொண்ட செல் (001) எதிரொளிப்பைச் செய்யாது என்றும் சொல்லிவிடலாம். இவ் உண்மையை, இரண்டு செல்களுக்குரிய படிக இயலமைப்புக் காரணி கணக்கீடுகளைக் கொண்டு மேலே காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

சோடியம் குளோரைடு படிகத்தின் யூனிட் செல் நான்கு சோடியம் அணுக்களை (0 0 0) ($\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0) ($\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ 0) ($\frac{1}{2}$ 0 $\frac{1}{2}$) (0 $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) என்ற ஆயத்தொலைகளிலும், நான்கு குளோரின் அணுக்களை ($\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$) ($\frac{1}{2}$ 0 0) (0 $\frac{1}{2}$ 0) (0 0 $\frac{1}{2}$) என்ற ஆயத்தொலைகளிலும் பெற்றிருக்கின்றது. இதிலிருந்து சோடியம் குளோரைடின் படிக இயலமைப்புக் காரணியைக் கணக்கிடுவோம்.

$$f_{hkl} = f_{Na}\left[e^{2\pi i(0+0+0)} + e^{2\pi i\left(\frac{h}{2}+\frac{k}{2}+0\right)} + e^{2\pi i\left(\frac{h}{2}+0+\frac{l}{2}\right)} + e^{2\pi i\left(0+\frac{k}{2}+\frac{l}{2}\right)}\right]$$

$$+ f_{Cl}\left[e^{2\pi i\left(\frac{h}{2}+\frac{k}{2}+\frac{l}{2}\right)} + e^{2\pi i\left(\frac{h}{2}+0+0\right)} + e^{2\pi i\left(0+\frac{k}{2}+0\right)} + e^{2\pi i\left(0+0+\frac{l}{2}\right)}\right]$$

$$F_{hkl} = \left[f_{Na} + f_{Cl}\ e^{\pi i(h+k+l)}\right]\left[e^{0} + e^{\pi i(h+k)} + e^{\pi i(h+l)} + e^{\pi i(k+l)}\right]$$

(hkl) என்ற மில்லர் காட்டிகள் அனைத்தும் ஒற்றைப்படை எண்களாகவோ அல்லது இரட்டைப்படை எண்களாகவோ இல்லாமல், கலப்புள்ளவைகளாக (அதாவது, h ஒற்றைப்படை எண்ணாகவும் k, l இவை இரண்டும் இரட்டைப்படை எண்களாகவும்) இருக்கலாம். இப்படி இருந்தால் $F_{hkl} = 0$ ஆகிவிடும்.

மாறாக hkl இவை மூன்றும் ஒற்றைப்படை எண்களாகவோ அல்லது இரட்டைப்படை எண்களாகவோ இருப்பின், சோடியம் குளோரைடின் படிக இயலமைப்புக் காரணி கீழ்வருமாறு மாறுகிறது :

$$F_{hkl} = 4\left[f_{Na} + f_{Cl} \; e^{\pi i(h + k + l)}\right]$$

இதை மேலும் சுருக்கினால்,

$F_{hkl} = 4\ [f_{Na} + f_{Cl}]$ (h, k, l இவை அனைத்தும் இரட்டைப் படை எண்களாக இருப்பின்)

$F_{hkl} = 4\ [f_{Na} - f_{Cl}]$ (h, k, l இவை அனைத்தும் ஒற்றைப்படை எண்களாக இருப்பின்)

$$F(100) = f_{Na}(1 - 1 - 1 + 1) + f_{Cl}(-1 + 1 + 1 - 1) = 0$$

$$F(111) = f_{Na}(1 + 1 + 1 + 1) + f_{Cl}(-1 - 1 - 1 - 1) = 4(f_{Na} - f_{Cl})$$

$$F(200) = f_{Na}(1 + 1 + 1 + 1) + f_{Cl}(1 + 1 + 1 + 1) = 4(f_{Na} + f_{Cl})$$

$$F(220) = f_{Na}(1 + 1 + 1 + 1)\ f_{Cl}(1 + 1 + 1 + 1) = 4(f_{Na} + f_{Cl})$$

சோடியம் குளோரைடு படிகத்தின் தளங்களின், கலப்புள்ள மில்லர் காட்டிகளையுடைய தளங்களிலிருந்து பிராக் எதிரொளிப்பு இருக்காது. ஏனென்றால், இத் தளங்களின் படிக இயலமைப்புக் காரணிகள் 0 ஆக இருக்கிறது.

வைரத்தில் (Diamond), (200) (222) என்ற பிராக் எதிரொளிப்புகள் (Bragg reflection) இருக்காது எனக் கீழ்கண்டவாறு காண்பிக்கலாம் :

வைரத்தின் யூனிட் செல்லில் கார்பன் அணுக்களின் ஆயத் தொலைகள் :

$(0\,0\,0)$ $(\tfrac{1}{2}\,\tfrac{1}{2}\,0)$ $(\tfrac{1}{2}\,0\,\tfrac{1}{2})$ $(0\,\tfrac{1}{2}\,\tfrac{1}{2})$ $(\tfrac{1}{4}\,\tfrac{1}{4}\,\tfrac{1}{4})$ $(\tfrac{3}{4}\,\tfrac{3}{4}\,\tfrac{1}{4})$
$(\tfrac{3}{4}\,\tfrac{1}{4}\,\tfrac{3}{4})$ $(\tfrac{1}{4}\,\tfrac{3}{4}\,\tfrac{3}{4})$

$$F(200) = f_c\,(e^{0} + e^{2\pi i} + e^{2\pi i} + e^{0} + e^{\pi i} + e^{3\pi i} + e^{3\pi i} + e^{\pi i})$$

$$= f_c\,(1 + 1 + 1 + 1 - 1 - 1 - 1 - 1) = 0$$

$$F(222) = f_c\,(e^{0} + e^{4\pi i} + e^{4\pi i} + e^{4\pi i} + e^{3\pi i} + e^{7\pi i} + e^{7\pi i} + e^{7\pi i})$$

$$= f_c\,(1 + 1 + 1 + 1 - 1 - 1 - 1 - 1)$$

$$= 0.$$

6. படிகங்களின் இயலமைப்பை நிர்ணயிக்கும் முறை

(Determination of Crystal Structure)

டபிள்யூ. எல், பிராக் 1913-ல் சோடியம் குளோரைடின் இயலமைப்பை நிர்ணயித்ததிலிருந்து, இதுகாறும் கிட்டத்தட்ட ஐயாயிரம் படிகங்களின் இயலமைப்பு நிர்ணயிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு படிகத்தின் இயலமைப்பைக் கொண்டு அப்படிகத்தின் தன்மைகளைக் (properties) கூறலாம். உலோகஇயலில் (metallurgy) படிகத்தின் இயலமைப்பு மிகவும் முக்கியமானதாகக் கருதப்படுகிறது. ஏனென்றால், பிளாஸ்டிக் வடிவமாற்றம் (Plastic deformation), உலோகக் கலவை அமைப்பு (alloy formation) முதலியவற்றைத் தெரிந்துகொள்வதற்கு அவற்றின் இயலமைப்பு மிகவும் பயன்படுகிறது.

புதுப் புதுப் படிகங்கள் செயற்கை முறையில் உண்டாக்கப்படுவதால், அவற்றின் இயலமைப்பு நிர்ணயித்தல் தொடர்ந்து நடந்துகொண்டேயிருக்கின்றன. சாதாரண படிகங்களின் இயலமைப்பை எளிதில் கண்டுபிடித்து விடலாம். சில அணுவுப் படிகங்களின் (complex crystals) இயலமைப்பைக் கண்டுபிடித்தல் மிகவும் கடினமான வேலையாகும். தொடர்ந்து வருடக் கணக்கில் முயற்சி செய்தாலும் சில படிகங்களின் இயலமைப்பைச் சரியாகக் கண்டுபிடிக்க முடியவில்லை. எடுத்துக்காட்டாகப் புரோட்டீனின் இயலமைப்பை இதுவரை முழுமையாக எவரும் கண்டுபிடித்ததாகத் தெரியவில்லை. படிகங்களின் இயலமைப்பை நிர்ணயிப்பதற்குக் கையாளப்படும் சில முக்கியமான அடிப்படைக் கொள்கைகளைப் பார்ப்போம்.

ஒரு பொருளின் படிக இயலமைப்பு அப் பொருளின் விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தை (diffration pattern) நிச்சயிக்கிறது. அதாவது ஒரு படிகத்தின் யூனிட் செல்லின் வடிவமும், உருவமும் (shape and size of the unit cell) விளிம்பு வளைவுக் கோட்டின் கோண நிலையை (angular position) நிச்சயிக்கிறது. அந்த யூனிட் செல்லினுள்

வெவ்வேறு இடங்களில் அமைந்திருக்கும் அணுக்கள், விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் செறிவை நிர்ணயிக்கிறது. மேற்கூறியவை சுருக்கமாகக் கீழே அட்டவணையிட்டுக் கூறப்பட்டிருக்கிறது.

படிக இயலமைப்பு (Crystal structure)		விளிம்பு வளைவுப் பாங்கம் (Diffraction pattern)
(1) யூனிட் செல் (unit cell)	←——→	கோட்டின் நிலைகள் (Line positions)
(2) அணுக்களின் நிலைகள் (Atom positions)	←——→	கோட்டின் செறிவுகள் (Line intensities)

படிகத்தின் இயலமைப்பு விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தை நிச்சயிக்கிறது என்பதால், விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்திலிருந்து படிகத்தின் இயலமைப்பை நிர்ணயிக்கலாம் என்பது தெளிவு. படிகத்தின் இயலமைப்பிலிருந்து விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தை எளிதில் உறுதிப்படுத்தலாம். ஆனால், ஒரு படிகத்தின் விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்திலிருந்து அதனுடைய இயலமைப்பை நேராக எளிதில் உறுதிப்படுத்த முடியாது. ஒரு படிகத்தின் இயலமைப்பை உறுதிப்படுத்துவதற்குமுன் மற்ற படிகங்களின் தெரிந்த இயலமைப்பைக் கொண்டு, இந்தப் படிகத்தின் இயலமைப்பு இவ்வாறு இருக்கும் என ஊகிக்கப்படுகிறது. அதிலிருந்து அதனுடைய ' விளிம்பு வளைவு பாங்கம" கணக்கிடப்படுகிறது. பின் அப்படிகத்தைக் கொண்டு, அப் படிகத்தின் விளிம்பு வளைவுப் பாங்கம் உண்டாக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு கிடைத்த விளிம்பு வளைவுப் பாங்கமும் கணக்கிடப்பட்ட விளிம்பு வளைவுப் பாங்கமும் ஒன்றுயிருக்கிறதா எனப் பார்க்கப்படுகிறது. இவை இரண்டும் ஒன்றுயிருந்தால், ஊகிக்கப்பட்ட இயலமைப்பு சரியானதே. சரியாக இல்லாவிட்டால், படிகத்தின் இயலமைப்பு வேறென்றுக ஊகித்து, முன்மாதிரியே செய்யப்படுகிறது படிகத்தின் சரியான இயலமைப்பு கண்டு பிடிக்கும்வரை இதுபோல் செய்யப்படுகிறது.

ஒரு குறிப்பிட்ட படிகத்தின் தெரியாத இயலமைப்பு நிர்ணயிப்பதில் கீழ்க்கண்ட மூன்று வழிகள் கையாளப்படுகின்றன :

(1) விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் கோண நிலையைக் கொண்டு படிகத்தின் யூனிட் செல்லின் வடிவமும் உருவமும் (shape and size of the unit cell) நிச்சயிக்கப்படுகிறது. இக் குறிப்பிட்ட படிகம் ஏழுவகை படிகங்களில் எந்த வகையைச் சேர்ந்தது என ஊகிக்கப்படுகிறது. அதன்படி ஒவ்வோர்

எதிரொளிப்புக்கும் உரிய "மில்லர் காட்டிகள்" நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு செய்வதற்குப் "படிகத்தின் காட்டிகளை நிர்ணயித்தல்" எனப் பெயர். குறிப்பிட்ட படிகம் எழுவகைப் படிகங்களுள் ஒரு குறிப்பிட்ட வகையைச் சேர்ந்தது என உறுதி செய்தபின், இப் படிகத்தின் யூனிட் செல்லின் வடிவத்தை (shape) அறியலாம். பின் விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் நிலைகள், மில்லர் காட்டிகள் இவற்றிலிருந்து யூனிட்செல்லின் உருவத்தைக் கணக்கிடலாம்.

(2) மேற்கூறியவற்றிலிருந்து யூனிட்செல்லின் வடிவமும் உருவமும் தெரியும். இதைக் கொண்டும் படிகத்தின் இரசாயன அமைப்பு (chem.cal composition), படிகத்தின் அடர்த்தி (den.ity) இவற்றைக் கொண்டும், ஒரு யூனிட்செல்லில் உள்ள மொத்த அணுககள் கணக்கிடப்படுகின்றன.

(3 இறுதியாக, விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் சாருகின்ற செறிவைக் (rel.tive intensities) கொண்டு யூனிட் செல்லிற்குள் அணுக்களின் நிலைகளைக் கூறலாம்.

மேற்கூறிய மூன்று முறைகளும் கையாளப்பட்ட பிறகுதான் குறிப்பிட்ட ஒரு படிகத்தின் இயலமைப்பை முழுமையாகக் கூற முடியும். மூன்ருவதாகச் சொல்லப்பட்டிருப்பது அவ்வளவு எளிதானதல்ல. சில படிகங்களின் யூனிட் செல்களின் வடிவமும், உருவமும் ஆகிய இவைகளே தெரியும். யூனிட் செல்லிற்குள் அணுக்களின் நிலைகள் கண்டு பிடிக்கமுடியாமல் இருக்கலாம். இருப்பினும் இவை சில பயன் முறைகளில் (applied work) உபயோகிக்கப்படுகின்றன.

பொதுவாக டிபெய்-ஷியரெர்-ஹல் இவர்களின் துகள் முறையே இயலமைப்பு நிர்ணயித்தலில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. குறிப்பிட்ட படிகத்தின் துகள்களைக் கொண்டு, விளிம்பு வளைவுப் பாங்கம் உண்டாக்கப்படுகிறது விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தை உண்டாக்கிய பிறகு, ஒவ்வொரு விளிம்பு வளைவுக் கோட்டிற்கும் உரிய $\sin^2\theta$வின் மதிப்புக் கணக்கிடப்படுகிறது விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தில் உள்ள கோடுகள் இயலமைப்பு கண்டுபிடிக்க வேண்டிய படிகத்துகள்களால் விளிம்பு வளைவு செய்யப்பட்டனவாக இருக்கவேண்டுமே தவிர, மற்றக் கோடுகள் அதில் கலந்திருக்கக் கூடாது. அதோடு ஒரே அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிரைத் தான் பயன்படுத்த வேண்டும்

வடிகட்டிய எக்ஸ்கதிர்வீச்சை (filtered radiation) பயன் படுத்தினால் அதில் K_α கதிர்வீச்சு முதன்மைக் கூற்றாக அமையும். $K\beta$ கதிர்வீச்சும் அதில் கலந்திருக்கலாம். முழுமையாக $K\beta$ கதிர் வீச்சை வடிகட்ட முடியாது. இந்தக் கதிர்வீச்சும் படிகத்துகள் களால் எதிரொளிக்கப்பட்டு, விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தில் K_α கோடுகளோடு சேர்ந்து இருக்கும். குறிப்பிட்ட படிக தளங்கள் (crystal planes), K_β கதிர்வீச்சை θ_β என்ற கோணத்தில் எதிரொளிப்புச் செய்தால், அதே படிகத் தளங்கள் K_α கதிர்வீச்சை θ_α என்ற கோணத்தில் எதிரொளிப்புச் செய்யும் (θ_α என்ற கோணம் 90°-க்குமேல் இருக்கக்கூடாது). θ_α, θ_β இவற்றில் ஏதாவது ஒன்று தெரிந்தால் மற்றொன்றைக் கணக்கிடலாம்.

பிராக்கின் விதிப்படி,

$$\left(\frac{\lambda^2 k_\alpha}{\lambda k^2_\beta}\right)\sin^2\theta_\beta = \sin^2\theta_\alpha$$

இதில் $\left(\frac{\lambda k^2_\alpha}{\lambda k^2_\beta}\right)$ மதிப்புக் கிட்டத்தட்ட 1·2 ஆகும்.

விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தில் குறிப்பிட்ட ஒரு கோடு k_β கதிர் வீச்சால் உண்டானது என உறுதிப்படுத்த அந்தக் கோட்டினுடைய $\sin^2\theta$-வின் மதிப்பை $\frac{\lambda^2 k_\alpha}{\lambda^2 k_\beta}$ வால் பெருக்கி அதனால் கிடைத்த மதிப்பு, அதே விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தில் உள்ள k_α கோட்டின் $\sin^2\theta$-வின் மதிப்பிற்கு சமமாக இருக்கிறதா எனப் பார்க்க வேண்டும்.

கனசதுரப் படிகங்களின் குறியீட்டுப் பாங்கங்கள் (Indexing Patterns of cubic Crystls)

சாதாரண கனசதுர படிகத்தில். படிக அச்சிற்கும், (a) மில்லர் காட்டிகளுக்கும் (Miller indices) தள இடைவெளி தூரத்திற்கும் (d) உள்ள தொடர்பைக் கீழ்க்கண்ட தொடர்பால் குறிக்கலாம் :

$$({}_{\text{cube}})\, d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \qquad \ldots \qquad (1)$$

பிராக்கின் விதிப்படி $n\lambda = 2\,d\sin\theta$

n-ன் மதிப்பு ஒன்றானால்

$$\lambda = 2d\sin\theta$$

$$d = \frac{\lambda}{2 \sin \theta} \quad \cdots \quad (2)$$

எனவே,

$$\frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} = \frac{\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$\frac{a^2}{(h^2 + k^2 + l^2)} = \frac{\lambda}{4 \sin^2 \theta}$$

$$\frac{\sin^2 \theta}{(h^2 + k^2 + l^2)} = \frac{\lambda^2}{4a^2} \quad \cdots \quad (3)$$

$$\frac{\sin^2 \theta}{S} = \frac{\lambda^2}{4 a^2} \quad \text{இதில் } S = (h^2 + k^2 + l^2)$$

ஒரு கன சதுரப் படிக்த்தைக் கொண்டு விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தை உண்டாக்கி, அந்த விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்திலுள்ள விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் $\sin^2 \theta$ - ன் மதிப்புகளைக் காண வேண்டும். எக்ஸ் கதிர்களின் அலைநீளம் தெரிந்ததாகக் கொள்வோம். கன சதுர படிகத்தின் " a " – ன் மதிப்பும் தெரிந்ததே. ஆகையால் $\frac{\lambda^2}{4 a^2}$ என்பது ஒரு மாறிலி.

விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தில் உள்ள ஏதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட கோட்டின் $\sin^2 \theta$ - ன் மதிப்பை $\frac{\lambda^2}{4 a^2}$ ஆல் வகுத்தால் $(h^2 + k^2 + l^2)$ -ன் மதிப்பு தெரியும். $(h^2 + k^2 + l^2)$ -ன் மதிப்பு ஒரு முழு எண்ணாகும். ஆகையால் மேற்கூறியபடி $\sin^2$ ஐ $\frac{\lambda^2}{4 a^2}$ ஆல் வகுத்து அதனால் கிடைத்த மதிப்புப் பின்னமாக இருந்தால், அதை முழு எண்ணாக (அடுத்த முழு எண்ணாக) மாற்ற வேண்டும். மேற்குறிப்பிட்டபடி ஓர் எண்ணை (அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட விளிம்பு வளைவுக் கோட்டின் $\sin^2 \theta$-வின் மதிப்பை) மற்றொரு மாறிலியால் வகுத்து முழு எண்ணாக மாற்றுவதை நழுவுச் சட்டம் (slide rule) என்னும் கருவியில் உள்ள C D என்ற அளவுகோல்களால் செய்யலாம். இதிலிருந்து ஒவ்வொரு கோட்டிற்கும் உரிய மில்லர் காட்டிகளைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.

எடுத்துக் காட்டாக, செம்பைப் பயன்படுத்தி விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தை உண்டாக்குவதாகக் கொள்வோம் இப் பாங்கத்தில் எட்டு விளிம்பு வளைவுக் கோடுகள் கிடைக்கின்றன. இந்த எட்டு கோடுகளின் $\sin^2\theta$-வின் மதிப்பும், நழுவு சட்டத்தைக் கொண்டு கண்டுபிடித்த S-ன் $(h^2 + k^2 + l^2)$ மதிப்பும், இதிலிருந்து கண்டு பிடித்த $\frac{\lambda^2}{4a^2}$ என்ற மாறிலியின் மதிப்பும், மற்ற $h\ k\ l$-ன் மதிப்பும் கீழே அட்டவணையில் தரப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 11.

1	2	3	4	5	6
கோட்டின் வரிசை எண்	$\sin^2\theta$	$S=(h^2+k^2+l^2)$	$\frac{\lambda^2}{4a^2}$	A U (a)	h k l
1.	0·140	3	0·0466	3·57	111
2.	0·185	4	0·0463	3·58	200
3.	0·369	8	0·0462	3·59	220
4.	0·503	11	0 0457	3 61	311
5.	0·548	12	0·0456	3·61	222
6.	0·726	16	0·0454	3·62	400
7.	0·861	19	0·0453	3·62	331
8.	0·905	20	0·0453	3·62	420

மேற்கண்ட அட்டவணையிலிருந்து செம்பின் "a"-ன் மதிப்பை 3 62 A. U எனக் கொள்ளவேண்டும். மேலும் இந்த அட்டவணைமூலம் குறிப்பிட்ட படிகம் எந்த இனத்தைச் சேர்ந்தது எனச் சொல்லலாம்.

அட்டவணையில் 6ஆவது பத்தியைப் பார்த்தால், $h\ k\ l$ இவைகளின் தனித்தனியான மதிப்பு ஒற்றைப்படை எண்ணுகவோ அல்லது இரட்டைப்படை எண்ணுகவோதான் இருக்கிறதே தவிர, (அதாவது 120, 321 போல்) கலப்புள்ளதாக இல்லை இவ்வாறு கலப்பில்லாமல் ஒற்றைப்படை அல்லது இரட்டைப் படை எண்களை மில்லர் காட்டிகளாகக் கொண்ட படிகம் பக்கமையத்தைச்

சேர்ந்தது (face centred) என முன்பகுதியில் பார்த்தோம். ஆகையால், செப்பு பக்கமைய கனசதுரப் படிகம் எனத் தெரிந்துகொள்ளலாம். இதேபோல் $(h^2 + k^2 + l^2)$ இவற்றின் கூட்டுத் தொகை இரட்டைப்படை எண்ணாக இருப்பின் குறிப்பிட்ட படிகம் உருவ மைய கனசதுரப் படிகமாகும் (body centred cubic lattice)

பிறகு விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் செறிவைக் கொண்டு (intensity of the lines) யூனிட் செல்லில் எவ்வாறு அணுக்கள் அமைந்திருக்கின்றன எனக் கூறலாம்.

கனசதுரப் படிகத்தின் S-ன் $(S = h^2 + k^2 + l^2)$ மதிப்பைக் கொண்டு கீழ்க்கண்ட அட்டவணையிலிருந்து, அது சாதாரண கன சதுரமா அல்லது பக்கமைய கன சதுரமா அல்லது உருவ மையக் கனசதுரமா எனக் கூறலாம்.

	$S = (h^2 + k^2 + l^2)$-ன் மதிப்பு
சாதாரண கன சதுரம்	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10 11, 12, 13, 14, 16
உருவமையக் கன சதுரம்	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16
பக்கமையக் கன சதுரம்	3, 4, 8, 11, 12, 16
வையிரக் கன சதுரம்	3, 8, 11, 16

குறிப்பிட்ட படிகத்துகள் கனசதுர வகையைச் சார்ந்தவையா அல்லது கனசதுரமில்லாத படிவகையைச் சார்ந்தவையா என்பதை அவற்றின் விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்திலுள்ள கோடுகளின் எண்ணிக்கையிலிருந்து எளிதில் சொல்லிவிடலாம். கனசதுரமில்லாத படிகத்துகள்களைக் கொண்டு விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தை உண்டாக்கினால், அதில் ஏராளமான கோடுகள் இருக்கும். கன சதுரப் படிகத்துகள்களின் விளிம்பு வளைவுக் கோடுகள் அதைவிடக் குறைந்தே இருக்கும்.

அடுத்து ஒரு யூனிட்செல்லில் இருக்கும் அணுக்களின் எண்ணிக்கையை எவ்விதம் கண்டுபிடிப்பது என்பதைக் கீழே பார்ப்போம்.

ஒரு யூனிட்செல்லின் வடிவமும் உருவமும் தெரிந்துகொண்ட பின், அந்த செல்லில் எவ்வளவு அணுக்கள் உள்ளன. அவை எவ்விதம் அமைந்திருக்கின்றன எனக் கண்டு பிடிப்பது மிக முக்கியமானதாகும்.

$$\text{ஒரு படிகத்தின் அடர்த்தி} = \frac{\text{யூனிட் செல்லில் உள்ள அணுக்களின் எடை}}{\text{யூனிட் செல்லின் கன அளவு}}$$

அடர்த்தி (Density),

$$\rho = \frac{\text{யூனிட் செல்லில் உள்ள மொத்த அணுக்களின் எடை}}{V}$$

$$\rho = \frac{\text{ஒரு யூனிட் செல்லில் உள்ள மொத்த அணுக்கள்} \times \text{ஓர் அணுவின் எடை} \times \text{ஹைட்ரஜன் அணுவின் நிறை எடை}}{\text{யூனிட் செல்லின் கன அளவு}}$$

$$\rho = \frac{NWH}{V}$$

$$N = \frac{\rho V}{WH}$$

எடுத்துக் காட்டாக $Co_2 Al_5$-ன் யூனிட் செல்லில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கையைக் கணக்கிடுவோம் இப் படிகம் அறுங் கோண அணிக்கோவையை உடையது (hexagonol lattice).

$$a = 7{\cdot}656 \text{ A.U.}, \quad c = 7{\cdot}598 \text{ A.U.}, \quad \rho = 4{\cdot}31$$

கோபால்ட், அலுமினியம் இவற்றின் அணு எடை : 58·97-ம் 27·1-ம் ஆகும்.

ஆகையால் படிகத்தின் சராசரியான அணு எடை
(Mean atomic weight of the cryst..)

$$= \left(\frac{2}{7} \times 58{\cdot}97 + \frac{5}{7} \times 27{\cdot}1\right) = 36{\cdot}2$$

அறுங்கோணப் படிகத்தின் கன அளவு $(V) = \sqrt{3}\, a^2 c$

இப் படிகத்தின் யூனிட் செல்லில் உள்ள அணுக்களின் மொத்த எண்ணிக்கை கீழ்வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது :

$$N = \frac{4.3 \sqrt{\tfrac{3}{2}} \times 7{\cdot}656^2 \times 7{\cdot}5932 \times 10^{-24}}{36{\cdot}2 \times 1{\cdot}55 \times 10^{-24}}$$

$$= 27{\cdot}85 \simeq 28$$

அதாவது இப்படிகத்தின் யூனிட்செல்லில் 28 அணுக்கள் உள்ளன எனக் கூறலாம்.

அடுத்து, கண்டுபிடித்த யூனிட்செல்லில் அணுக்கள் எவ்விதம் அமைந்திருக்கின்றன என்பதைக் கண்டு கொள்ளும் முறையைக் கீழே காண்போம்.

ஏற்கெனவே கூறியுள்ளபடி, அணுக்களின் நிலைகளைக் கண்டு பிடிப்பதற்கு, விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் செறிவைப் பயன் படுத்த வேண்டும். ஏனென்றால் யூனிட்செல்லில் அணுக்களின் நிலைகளைப் பொறுத்து விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் செறிவு மாறு கிறது. அணுக்களின் நிலைகளைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு நேரடியான முறை எதுவும் கிடையாது. பல படிகங்களின் இயலமைப்பை உறுதிப்படுத்திய அநுபவத்திலிருந்து குறிப்பிட்ட யூனிட்செல்லில் அணுக்கள் இருக்கும் நிலைகள் ஊகிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு ஊகிக்கப்பட்ட நிலைக்கு ஒத்த செறிவு கணக்கிடப்படுகிறது. மேற் சொன்னபடி கணக்கிட்ட செறிவும், விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளைக் கொண்டு அளக்கப்பட்ட செறிவும் ஒன்றாயுள்ளதா எனப் பார்க்கப் படுகிறது. ஒன்றாயிருந்தால் ஊகிக்கப்பட்ட அணுக்களின் நிலை சரியே. ஒன்றாயில்லாவிட்டால், மீண்டும் வேறுவிதமாக ஊகித்து, முன் கூறியபடியே ஊகித்த நிலைக்கு ஒத்த செறிவும், அளக்கப்பட்ட செறிவும் ஒன்றாயிருக்கிறதா எனப் பார்க்கப்படுகிறது. இம்முறை யும் ஒன்றாயில்லாவிட்டால், முன் சொல்லியபடியே மீண்டும் செய்யப்படுகிறது. ஊகிக்கப்பட்ட நிலைக்கு ஒத்த செறிவும், விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளைக் கொண்டு அளக்கப்பட்ட செறிவும் ஒன்றாக இருக்கும்வரை இம்மாதிரி செய்யப்படுகிறது.

பெரும்பாலான படிகங்களின் இயலமைப்பை, அவற்றின் பிணைப்புகளைக் கொண்டு (அதாவது அயனிப் பிணைப்பு, சகப் பிணைப்பு, உலோகப் பிணைப்பு போன்றவை) சொல்லிவிடலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக ஒரு படிகத்தின் வேதியியற் வாய்பாடு (chemical formula) AB என்பதாகக் கொள்வோம். இதில் A என்பது நேர்மின் தன்மையையும் (electro positive), B என்பது எதிர்மின் தன்மையையும் உடையதாகக் கொள்வோம். மேற் சொன்ன படிகத்தைத் துகள்களாக்கி, அதைக் கொண்டு "விளிம்புப் பாங்கம்" உண்டாக்கியதில், இப்படிகம் சாதாரண கனசதுர அணிக்கோவை (simple cubic lattice) உடையதாகத் தெரிகிறது. இதைக் கொண்டு, இப் படிகத்தினுள், அணுக்கள் அயனிப் பிணைப்பால் பிணைக்கப் பெற்றிருப்பதாகச் சொல்லலாம்.

ஆகையால் இப் படிகத்தின் இயலமைப்பு சீசியம் குளோரைடு (CsCl) இயலமைப்பையோ அல்லது *Fe Si* இயலமைப்பையோ ஒத்து இருக்கலாம். இப் படிகத்தின் அடர்த்தியைக் கண்டுபிடித்து அதிலிருந்து ஒன்றை நீக்கிவிடலாம். ஏனென்றால், சீசியம் குளோரைடு யூனிட்செல், ஒரு மூலக் கூற்றையும் (molecule), *Fe Si* யூனிட்செல் நான்கு மூலக் கூறுகளையும் பெற்றிருக்கின்றன. அடர்த்தியின் அளவிலிருந்து இயலமைப்புக் கண்டுபிடிக்க முடியாவிட்டால் சீசியம் குளோரைடு, *Fe Si* இவற்றினுடைய யூனிட்செல்களின் விளிம்பு வளைவுக் கோடுகளின் செறிவைக் கணக்கிட வேண்டும். பின் கொடுத்துள்ள படிகத்தைக் கொண்டு, விளிம்பு வளைவுப் பாங்கத்தை உண்டாக்கி, அப் பாங்கத்திலுள்ள கோடுகளின் செறிவை அளக்க வேண்டும். இவ்வாறு அளந்த செறிவு, மேற்சொன்னபடி கணக்கிட்ட இருபடிகங்களின் செறிவுகளில் எதனுடன் ஒத்து இருக்கிறதோ, அப் படிகத்தின் இயலமைப்பும் கொடுத்துள்ள படிகத்தின் இயலமைப்பும் ஒன்றுயிருப்பதாகக் கொள்ளவேண்டும்.

சில படிகங்களின் இயலமைப்புகளை மேற்சொன்ன எளிமையான முறையில் கண்டுபிடிக்க இயலாது. அம் மாதிரியான படிகங்களின் இயலமைப்பைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு "பூரியர் சீரிஸ்" அறிமுறையையோ (Fourier Series Theory) அல்லது "இடத் தொகுப்புகள்" அறிமுறையையோ (Space Group Theory) பயன்படுத்த வேண்டும். அவற்றை எல்லாம் விளக்கமாக அறிந்து கொள்ளப் பின்னால் அட்டவணையில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள மற்ற நூல்களை நோக்கவும்.

7. எக்ஸ்கதிர் விளிம்பு விளைவுச் சோதனை முறைகள்

(Experimental Methods of X-Ray Diffraction)

$n\lambda = 2d \sin\theta$ என்ற பிராக்கின் விதிப்படி, குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிருக்குத் தகுந்த தொடுகோணமாக இருந்தால்தான் பிராக்கின் எதிரொளிப்பு நிகழும். ஆகையால் எக்ஸ் கதிர்க் கற்றையில் (X-ray beam) உள்ள எக்ஸ்கதிர்களின் வெவ்வேறு அலைநீளங்களுக்குத் தகுந்த குறிப்பிட்ட தொடுகோணங்களுக் குரிய அலைநீளங்கள் அமையுமாறு செய்யவேண்டும். இதைக் கீழ்கண்ட மூன்று வகைகளில் செய்யலாம்.

(1) லாவேயின் முறை (Laue method)

இம்முறையில், குறிப்பிட்ட ஒரு படிகம் நிலையாகப் பொருத்தப் படுகிறது. எக்ஸ்கதிர்க் கற்றையில் உள்ள எக்ஸ்கதிர்கள் தொடர்ந்து இப்படிகத்தில் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. இப்படிகம் தள இடை வெளித் தூரத்திற்குத் தகுந்தவாறும் (அதாவது d-ன் மதிப்பிற்குத் தகுந்தவாறும்) தொடுகோணத்திற்குத் தகுந்தவாறும் (θ-விற்கு தகுந்தவாறு) உரிய அலைநீளங்களுள்ள எக்ஸ்கதிர்களைத் தேர்ந்தெடுத்து, பிராக்கின் எதிரொளிப்பைச் செய்கிறது.

(2) சுழல்படிகமுறை (Rotating Crystal Method)

இம்முறையில் ஒரு குறிப்பிட்ட அச்சைச் சுற்றி படிகம் சுற்றப் படுகிறது. இவ்வாறு படிகம் சுற்றப்படுவதனால், படிகத்திலுள்ள வெவ்வேறு தளங்களின்மேல் எக்ஸ்கதிர்கள் விழுகின்றன. அதாவது, படிகத்தைச் சுற்றும்பொழுது தொடுகோணங்கள் தொடர்ந்து மாறுகின்றன. ஒவ்வொரு தொடுகோணமும் அதற் குரிய அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிரைத் தேர்ந்தெடுத்து பிராக்கின் எதிரொளிப்பைச் செய்கிறது.

(3) துகள்முறை (டிபய்-ஷியரெர் - ஹல்முறை) (Powder Method or Debye-Scherrer-Hull-method)

இம் முறையில் படிகத்தைத் துகள்களாக்கி, அத் துகள்களைப் படிகத்திற்குப் பதிலாக நிலையாக வைத்து, துகள்களின் மீது எக்ஸ்

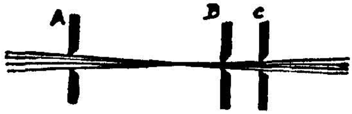
கதிர்கள் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. இத்துகள் அனைத்தும் வெவ்வேறு திசைகளை நோக்கி அமைந்திருப்பதால், அவற்றின் தொடுகோணம் மாறுபடும். குறிப்பிட்ட எக்ஸ்கதிர் அலை நீளத் திற்குரிய தொடுகோணமானல், இந்த எக்ஸ்கதிர் இத் துகள்களால் எதிரொளிக்கப்படும்.

மேற்சொன்ன மூன்று முறைகளும் நவீன ஆராய்ச்சியில் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. இம் மூன்று முறைகளில் லாவேயின் முறை, படிகத்தின் திசைகோட் சேர்க்கையும் (orientation), சமச்சீர் தன்மையையும் எளிதில் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுகிறது. ஏதாவது ஒரு தனி படிகத்தின் (single crystal) இயலமைப்பைக் கண்டு பிடிக்க மிகவும் உகந்த முறை சுற்றும் படிக முறை (Rotating crystal method) யாகும். உலோக இயலமைப்புத் (metallurgy) துறையிலும், இதர பயன் முறைகளிலும் (applied work) துகள் முறை அதிகம் பயன்படுகிறது.

(1) லாவேயின் முறை (Laue method)

இம்முறையே முதன் முதலாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட ஒன்று. ஆகவே, இதுவே படிகத்தைப் பகுத்தாய்வதற்குப் பயன்பட்ட பழைய முறையாகும். 1911 ல் எக்ஸ்கதிர்களின் விளிம்பு வளைவுத் தன்மையைக் கண்டுபிடித்தவுடன், லாவே என்ற விஞ்ஞானி இம் முறையைக் கண்டுபிடித்தார். தொடர் எக்ஸ்கதிர்கள் (continuous X-radiation) இம் முறையில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

டங்ஸ்டன் நேர்மின்வாயிலிருந்து வருகிற எக்ஸ்கதிர்கள் ஒரு சிறிய படிகத்தில் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. எக்ஸ்கதிர்க் குழாயின் மின்வாய்களுக்கிடையில் செலுத்தப்படும் மின் அழுத்தம் குறைந்த மதிப்புள்ளதாகவே இருக்கவேண்டும். *A*, *B*, *C* இவை மூன்றும் ஈயத்தாலான இடைத் திரைகளாகும் (lead diaphragms), இந்த மூன்று இடைத் திரைகளி லும் மூன்று துவாரங்கள் செய்யப் பட்டு, அதன் வழியாக எக்ஸ் கதிர்கள் செலுத்தப்படுகின்றன.



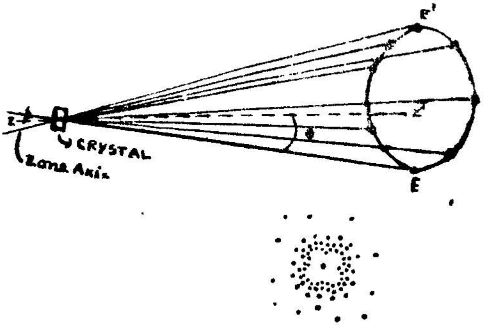
படம் 67. இடைத் திரைகள்

இம் முறையால் எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள், குறுகலாக்கப்பட்டு நேர்த்தியாக்கப்படுகின்றன. *A*-யும், *B*-யும் கிட்டத்தட்ட இரண்டு அங்குல தூரத்தில் வைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு நேர்த்தியாக் கப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்கள் சிறிய ஒரு படிகத்தின்மேல் விழுமாறு செய்யப்படுகின்றன. விளிம்பு வளைவுக் கற்றைகள் ஒளிப்படத்

தட்டில் விழுகின்றன. படிகத்திற்கும், ஒளிப்படத் தட்டிற்கும் உள்ள தூரம் கிட்டத்தட்ட 5 அல்லது 6 சென்டிமீட்டர் இருக்கும்.

எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து வெவ்வேறு அலை நீளங்களில் தொடர்ந்து எக்ஸ்கதிர்கள் படிகத்தில் விழுகின்றன. படிகத்தி லுள்ள வெவ்வேறு தளங்கள் பிராக் விதிக்குட்பட்டு, அவற்றிற் குரிய அலைநீளமுள்ள எக்ஸ்கதிர்களைத் தேர்ந்தெடுத்து எதிரொளிப் பைச் செய்கின்றன. இதனால் ஒளிப்படத் தட்டில் ஏராளமான எதிரொளிப்புப் புள்ளிகள் (Laue's reflection spots) உண்டாக்கப் படுகின்றன. இப் புள்ளிகள் லாவே புள்ளிகள் என வழங்கப்படு கின்றன. வெவ்வேறு தளங்களினால் உண்டாக்கப்பட்ட எதிரொளிப் புப் புள்ளிகள் படத்திலே காட்டப்பட்டிருக்கின்றன.

ஒளிப்படத் தட்டில் உள்ள புள்ளிகளிலிருந்து குறிப்பிட்ட படிகத்தின் இயலமைப்பை உறுதிப்படுத்துவது என்பது ஒரு கடின



படம் 68. லாவேயின் புள்ளிகள்

மான செயலாகும். ஏனென்றால் ஒளிப்படத் தட்டில் உண்டாகும் புள்ளிகளின் செறிவுகள் படிகத்தின் இயலமைப்பை மட்டும் பொறுத்ததல்ல. ஆகையால், பொதுவாக லாவேயின் முறை படிகத்தின் முகப்பு நிலையையும் (orientation), சமச்சீரையும் (symmetry) உறுதிப்படுத்துவதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகின்றது.

லாவேயின் முறையை, "அணிக் கோவைத் திரிபு" களை (lattice strains) அல்லது "அணிக்கோவை முற்றுப் பொருமை" யைக் (lattice imperfections) கண்டுபிடிப்பதற்குப் பயன்படுத் தலாம். திரிபுள்ள அணிக் கோவையை உடைய படிகத்தைக் கொண்டு கிடைக்கப் பெறும் லாவேப் புள்ளிகள், கூர்மையாக வரையறுக்கப்படாமல் (sharply defined) இருக்கும். எடுத்துக்

காட்டாக. ஒரு படிகத்தினுள் குறிப்பிட்ட சில தளங்கள் அவை சமநிலை இருப்பிடங்களிலிருந்து (epuilibrium positions) மாறுபட்டு வளைந்து இருப்பதாகக் கொள்வோம். இத் தளங்களின் வழியாக எக்ஸ்கதிர்கள் சென்று அதனால் கிடைக்கப் பெறும் லாவே பாங்கத்தின் அமைப்பு (Laue's pattern) கூர்மையாக வரையறுக்கப்பட்ட புள்ளிகளாகக் கிடைக்காமல் நீண்ட கோடுகளாகக் (streaks) கிடைக்கும். கீழே படத்தில் திரிபுடைய பொட்டாஷியம் குளோரைடு (strained crystal of KCl) படிகத்தின்மூலம் கிடைக்கப்பெற்ற லாவேயின் அமைப்பு காட்டப்பட்டிருக்கிறது.

படம் 69. திரிபுடைய பொட்டாசியம் குளோரைடுமூலம் கிடைக்கப்பெற்ற லாவேயின் அமைப்பு

(2) சுழல் படிக முறை (Rotating crystal method)

மாறுபட்ட வெவ்வேறு பொருள்களின் இயலமைப்பைக் கண்டுபிடிப்பதற்கு இம் முறையே சிறந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. லாவேயின் முறைக்கும், சுழல் படிகமுறைக்கும் உள்ள வித்தியாசம் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது:

(1) சுழல் படிகமுறையில் ஒற்றைநிற எக்ஸ்கதிர்களே (monochromatic X-rays) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. லாவேயின் முறையில் பலநிற எக்ஸ்கதிர்களைப் (polychromatic) பயன்படுத்தலாம்.

(2) எக்ஸ்கதிர்களை இணையாக்குவதற்கு ஊசித் துவாரங்களுக்குப் பதிலாகச் செங்குத்துப் பிளவுகள் ((vertical slits) பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

(-) லாவேயின் முறையில் பகுத்தாய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் படிகங்கள் சற்றுப் பெரியதாகவே இருக்கலாம். ஆனால்,

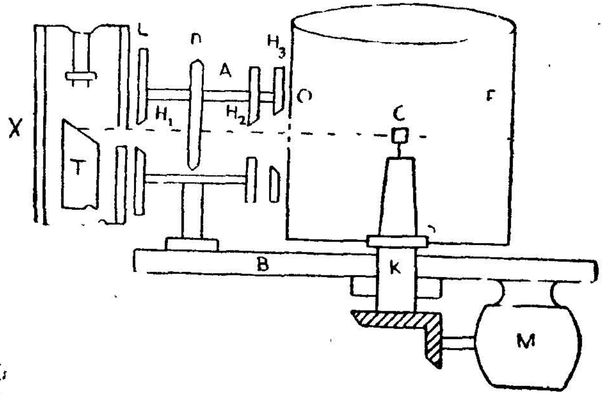
சுழல் படிக முறையில் இப் படிகங்களின் அளவுகள் மிக மிகச் சிறியதாகவே இருக்கவேண்டும்.

(4) லாவேயின் அமைப்பில் ஒளிப்படத் தட்டு பயன்படுத்தப் படுகிறது. மாறுகச் சுழல் படிக முறையில் ஒளிப்பட ஏடு (photographic film) பயன்படுத்தப்படுகிறது.

(5) லாவேயின் முறையில் படிகத்தைச் சுற்றுவதில்லை. ஆனால், சுழல் படிக முறையில் படிகம் சீராகச் சுற்றப்படுகிறது.

சுற்றும் படிக முறையின் அமைப்பைக் கீழேயுள்ள படம் காட்டுகிறது.

இப் படத்தில் X என்பது எக்ஸ்கதிர்க் குழாய். எக்ஸ்கதிர்க் குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்கள் H_1 H_2 என்ற செங்குத்துப்



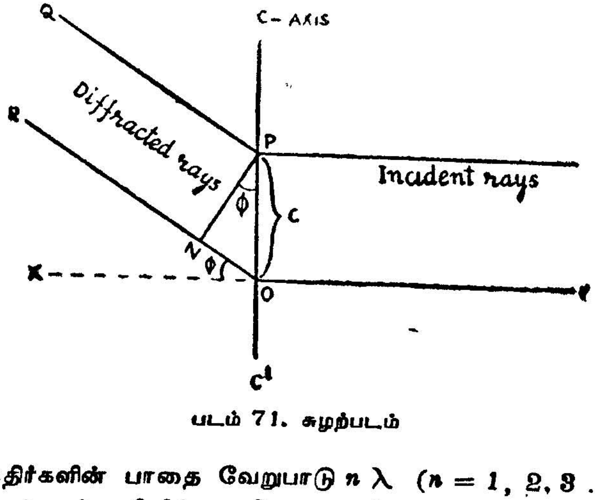
படம் 70. சுற்றும் படிகமுறையின் அமைப்பு

பிளவுகளால் (vertical slits) இணையாக்கப்படுகின்றன. D என்பது வடிகட்டி (filter). இது 0·001 அங்குலமுள்ள நிக்கல் உலோகத்தால் ஆனது வடிகட்டப்பட்ட எக்ஸ்கதிர்கள் C என்ற படிகத்திறன்மீது விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. M என்ற மோட்டாரால் (Motor) படிகம் சீராகச் சுற்றப்படுகிறது. F என்பது உருளை வடிவமான மெல்லிய ஏடாகும். இம் முறையில் பயன்படுத்தப் படும் படிகத்தின் அளவு மிகச் சிறியதாகவே இருக்கவேண்டும். பெரிய அளவுள்ள படிகங்களைப் பயன்படுத்தினால், அப் படிகங்களினால் உண்டாக்கப்படும் விளிம்பு வளைவுப் புள்ளிகளின் செறிவைக் கொண்டு படிகங்களின் இயலமைப்பை உறுதிப்படுத்து

வது மிகவும் கடினமான செயலாகும். சிறு படிகமாக இருந்தால், குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்கள் முழுவதும் படிகத்தின் ஏதாவது ஒரு பகுதியின்மீது விழுந்துதான் செல்லவேண்டும். படிகத்திலிருந்து வரும் விளிம்பு வளைவுக் கற்றைகள் (diffracted X-rays), F என்ற உருளை வடிவமான மெல்லிய ஏட்டில் புள்ளிகளை உண்டாக்குகின்றன. படிகம் சீராகச் சுற்றப்படுவதால் படிகத்தின் வெவ்வேறு தளங்களின்மீது எக்ஸ்கதிர்கள் விழுகின்றன. வெவ்வேறு தளங்களிலிருந்து வரும் விளிம்பு வளைவுக் கற்றைகள் மெல்லிய ஏட்டில் ஏராளமான புள்ளிகளை உண்டாக்குகின்றன.

படம் 71-ல் PO என்பது ஒரே மண்டல அச்சினூடே (zone axis) யுள்ள அடுத்தடுத்த அணிக்கோவைப் புள்ளிகளின் இடைவெளித் தூரமாகும். குறிப்பிட்ட படிகம் PO என்ற அச்சைச் சுற்றிச் சுற்றப்படுகிறது.

படுகதிர் (incident ray) PQ என்ற அச்சிற்குச் செங்கோணமாக விழுகிறது. P, Q என்ற இரு புள்ளிகளிலிருந்து வெளிவரும்



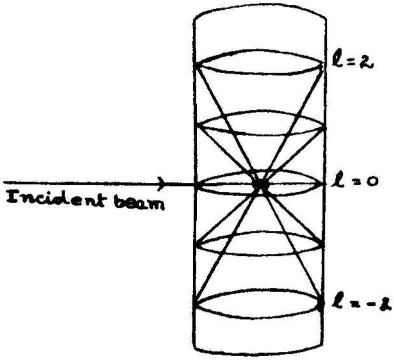
படம் 71. சுழற்படம்

எக்ஸ்கதிர்களின் பாதை வேறுபாடு $n\lambda$ ($n = 1, 2, 3$ ..) ஆக இருந்தால்தான் விளிம்பு வளைவு உண்டாகும். $\angle ROX$ என்ற கோணம் $\angle NPO = \phi$-க்குச் சமமாக இருந்தால்தான் விளிம்பு வளைவுக் கற்றைகள் CC' என்ற அச்சிலிருந்து $(90 - \phi)$ சாய்ந்து அத் திசையில் செல்லும். அப்பொழுது $n\lambda = c \sin \phi$. அதாவது $\lambda = c \sin \phi$ $(n = 1)$.

படிகம் C என்ற அச்சைச் சுற்றிச் சுற்றப்படுவதாகக் கொள்வோம். C என்ற அச்சுக்கு இணையாக உள்ள தளங்கள் எக்ஸ்கதிர்களைக் கிடை மட்டத்தில் (horizontally) எதிரொளிப்புச் செய்கின்றன. இத் தளங்கள் [001] என்ற மண்டலத்தைச் சார்ந்ததாகும். இவற்றின் மில்லர் காட்டிகள் $[h\ k\ o]$ ஆகும். மேற்கூறிய மில்லர் காட்டிகளையுடைய தளங்களிலிருந்து எதிரொளிக்கப்படுகின்ற எக்ஸ்கதிர்களுக்கொத்த புள்ளிகளைப் படம் 72-ல் காட்டியபடி மெல்லிய ஏட்டின் மத்தியில் அமைகின்றன. அதாவது படத்தில் இப் புள்ளிகள் $l = O$ என்ற இடத்தில் உள்ளன.

இதைப்போல் $[h\ k\ l]$ என்ற மில்லர் காட்டிகளையுடைய தளங்களிலிருந்து செய்யப்படும் எதிரொளிப்புப் புள்ளிகள் மெல்லிய ஏட்டின் மேல்பகுதியில் அமைகின்றன. இப்பொழுது விளிம்பு விளைவுக் கற்றைகள் C என்ற அச்சோடு ϕ என்ற கோணத்தைச் செய்யும்.

l-ன் மதிப்பு — 1, — 2 ஆக இருந்தால், எதிரொளிப்புப் புள்ளிகள் மெல்லிய ஏட்டின் கீழ்ப் பகுதியில் அமைகின்றன. ஓர் அடுக்கில் அமையும் புள்ளிகளுக்கும், மற்றோர் அடுக்கில் அமையும்



படம் 72. துகள் முறையைக் காட்டும் படம்

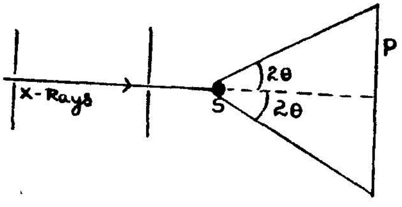
புள்ளிகளுக்கும் இடையிலுள்ள தூரம், குறிப்பிட்ட அச்சில் அடுத்தடுத்த அணுக்கோவைப் புள்ளிகளுக்கிடையிலுள்ள தூரத்தைப் பொறுத்திருக்கிறது. ஆகையால் படத்திலிருந்து "C" என்ற தூரத்தை எளிதில் கண்டறியலாம்.

இதேபோல் தனித்தனியாக மற்ற அச்சுகளைச் சுற்றி மேற் கண்டபடி சுழற்படம் எடுத்தால், ஒவ்வொரு படத்திலிருந்தும் "b", "a" இவற்றின் தூரத்தைக் காணலாம். இதிலிருந்து அப் படிகத்தின் ஒரு யூனிட் செல்லின் அளவைத் தெரிந்து கொள்ள லாம். ஆகையால், ஒரு படிகத்தின் யூனிட்செல்லின் அளவைத் துல்லியமாகத் தெரிந்துகொள்ள சுழல் படிக முறையே சிறந்ததாகக் கருதப்படுகிறது.

துகள்முறை (Powder Method)

படிகத்தைப் பகுத்தாய்வதற்கு இதுகாறும் கண்ட முறைகளில் உருக்குலைவு (distortion) ஆகாத, நேராக உள்ள படிகங்களே பயன்படுத்தப்படுகின்றன. துகள் முறையில் உருக் குலைவுள்ள படிகமாக இருந்தாலும் அவற்றைச் சிறு துகள்களாக்கி, அவற் றைப் பயன்படுத்து, மேற்கண்ட படிகத்தின் இயலமைப்பைத் தெரிந்துகொள்ளலாம். 1916-ல் டிபெய், ஷியாரர் ஆகிய இவர் கள் இருவரும் தனித்தனியாக ஜெர்மனியிலும், ஹல் என்பவர் தனியாக அமெரிக்காவிலும் படிகத் துகள்களிலிருந்து விளிம்பு வளைவு பாங்கத்தை உண்டாக்கி, மேற்கண்ட முறையை வெற்றி யடையதாகச் செய்தார்கள். இப் புதிய முறையால் உலோகங்கள் மற்றும் மரம், இரப்பர் போன்ற பொருள்களின் இயலமைப்பைத் தெரிந்து கொள்ளலாம். ஹல் இம் முறையால் இரும்பு, அலுமினியம், சிலிகன், மெக்னீசியம், சோடியம், நிக்கல் கிராபைட் போன்ற பொருள்களின் இயலமைப்பைக் கண்டுபிடித்தார்.

இம் முறையில், குறிப்பிட்ட படிகத் துகள்கள் படம் 78-ல் காட்டியுள்ளபடி, எக்ஸ்கதிர்களால் விளிம்பு வளைவு செய்ய

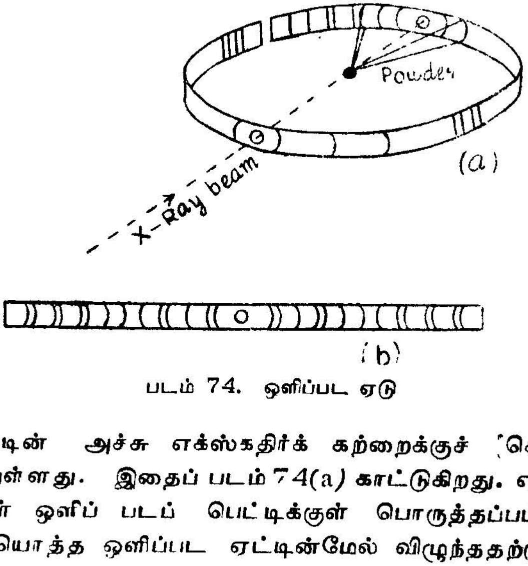


படம் 78. விளிம்பு வளைவு

முடியாத பொருளாலான ஒரு சிறிய நுண்குழாய்க்குள் (capillary tube) அடைத்து, S என்ற இடத்தில் வைக்கப்படுகிறது. எக்ஸ் கதிர்க் குழாயிலிருந்து வரும் எக்ஸ்கதிர்களின் கற்றைகள், நுண்

குழாயின்மேல் விழுமாறு செய்யப்படுகிறது. படத்தில் P என்பது ஒளிப்படப் பெட்டியின் உட்புறமாகப் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் "ஒளிப் படஏடு" ஆகும். நுண்குழாய்க்குள் இருக்கும் துகள்கள் பல விதமான சரிசம வாய்ப்புள்ள முகப்பு நிலைகளைப் (Random orientations) பெற்றிருப்பதால் துகள்களின்மேல் விழும் எக்ஸ்கதிர்கள், பல விளிம்பு வளைவுத் தளங்களால் விளிம்பு வளைவு செய்யப்படுகின்றன.

இவ்வாறு விளிம்பு வளைவு செய்யப்படுகின்ற எக்ஸ்கதிர்கள், ஒளிப்படப் பெட்டியில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் உருளை (cylinder) போன்ற ஒளிப்பட ஏட்டில் விழுகின்றன. உருளைபோன்ற ஒளிப்



படம் 74. ஒளிப்பட ஏடு

பட ஏட்டின் அச்சு எக்ஸ்கதிர்க் கற்றைக்குச் செங்குத்தாக அமைந்துள்ளது. இதைப் படம் 74(a) காட்டுகிறது. எக்ஸ்கதிர்க் கற்றைகள் ஒளிப் படப் பெட்டிக்குள் பொருத்தப்பட்டிருக்கும், உருளை யொத்த ஒளிப்பட ஏட்டின்மேல் விழுந்ததற்குப் பிறகு, வெளியே எடுத்து அதை விரித்தால், அதன் தோற்றம் படம் 74(b)-ல் காட்டியபடியிருக்கும்.

சிறிய கோணங்களின் விளிம்பு வளைவு செய்த எக்ஸ்கதிர்க் கற்றைகள் ஒளிப்பட ஏட்டின் நடுவில் ஒரு புள்ளியை சுற்றி வில் போன்ற அமைப்புகளை உண்டாக்குகின்றன. விளிம்பு வளைவுக் கோணம் 90° ஆக இருப்பின் வில் போன்ற அமைப்பு நேர்க் கோடாக மாறுகிறது. விளிம்பு வளைவுக் கோணம் 90°-க்கு மேலாக இருப்பின், கோடுகள் உட்புறம் நோக்கி வளைவதற்குப் பதில் வெளிப்புறம் நோக்கி வளைகின்றன. இவ்வாறு உட்புறம் அல்லது

வெளிப்புறம் வளைந்த விற்போன்ற அமைப்புகளின் ஆரத்தைக் கணக்கிட வேண்டும். ஏதாவது ஒரு வளைவின் ஆரம் R எனக் கொள்வோம். ஒளிப்பட ஏட்டிற்கும், படிகத்துகள் வைக்கப்பட்டிருக்கும் இடத்திற்கும் உள்ள தூரம் x எனக் கொள்வோம். மேற்சொன்ன இரு அளவுகளிலிருந்து பிராக்கின் கோணத்தைக் (Bragg's angle) கணக்கிடலாம்.

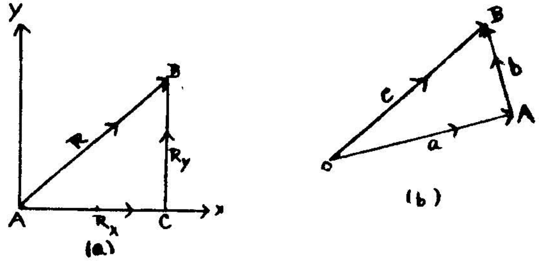
$$\text{பிராக்கின் கோணம் } (\theta) = \frac{R}{2x}$$

பிராக்கின் கோணத்தைக் கணக்கிட்ட பிறகு, a-ன் மதிப்பைக் கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்திக் கணக்கிடலாம்.

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{2a}\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

8. வெக்டார்கள்
(VECTORS)

கணிதத்திற்குரிய அளவுகளை இருவகையாகப் பிரிப்பது வழக்கம். ஒன்று எண் அளவு (scalar quantity), மற்றொன்று வெக்டார் அளவு (Vector quantity). வெக்டார் அளவு, எண்ணையும் திசையையும் சேர்த்துக் குறிக்கிறது.



படம் 75. வெக்டார்

படம் 75(a)-ல், A என்ற புள்ளியிலிருந்து B என்ற புள்ளிக்கு ஒருவன் செல்ல வேண்டும் எனக் கொள்வோம். A-விருந்து B-க்கு எப்படிச் செல்லவேண்டும், எவ்வளவு தூரம் செல்ல வேண்டும் என்பதை R என்ற வெக்டார் குறிக்கிறது.

இதற்குப் பதில் ஒருவன் R_x தூரம் X அச்சில் சென்று, பிறகு R_y தூரம் Y அச்சல் சென்ருல் B என்ற புள்ளியை அடையமுடியும். இதிலிருந்து R என்ற வெக்டாரை, R_x, R_y என இரு கூறுகளாகப் பிரிக்கலாம் எனத் தெரிகிறது.

$$R = R_x + R_y$$

பொதுவாக "a" என்ற ஒரு வெக்டார் O என்ற புள்ளியிலிருந்து A வரை செல்லுவதாகக் கொள்வோம். இந்த வெக்டாரை அளவிலும் திசையிலும் படம் 75(b)-ல் காட்டியபடி குறிக்கலாம். A என்ற புள்ளியிலிருந்து B என்ற புள்ளிவரை செல்லக் கூடிய

மற்ருெரு வெக்டாரை "b" இதனுடன் சேர்ப்பதாகக் கொள்வோம். இதற்கு "a" என்ற வெக்டாரின் நுனியில் "b" என்ற இரண்டாவது வெக்டாரை வைக்கவேண்டும். மாருகப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி B என்ற புள்ளிக்கு O என்ற புள்ளியிலிருந்து நேராக C என்ற வெக்டார் வழியாகச் செல்ல முடியும். இதிலிருந்து,

$a + b = c$ என முடிவாகிறது.

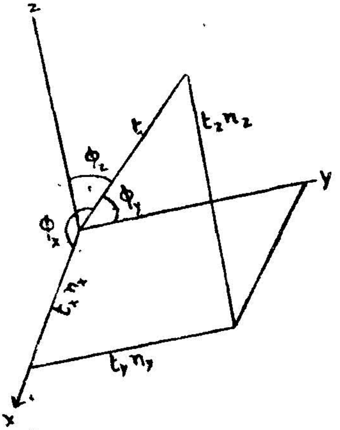
ஒரு வெக்டாரின் அளவை மாற்ருமல் திசையை மட்டும் மாற்றிஞல் அது எதிர்வெக்டாராக (negative vector) மாறிவிடுகிறது. படத்தில் a என்ற வெக்டார் எதிர்வெக்டார் A-லிருந்து O-க்கு வரக்கூடிய வெக்டாராகும். இயற்கணிதத்தில் (algebra) செய்வதைப்போல் முதல் வெக்டாரிலிருந்து இரண்டாவது வெக்டாரைக் கழிக்க வேண்டுமென்ருல், முதல் வெக்டாரோடு இரண்டாவதின் எதிர் வெக்டாரைக் (negative vector) கூட்டிஞல் போதுமானதாகும். அதாவது,

$$c - a = c + (-a) = b$$

வெக்டார் திசையையும் குறிப்பதால், ஒரு குறிப்பிட்ட வெக்டாரின் திசைகோட் சேர்க்கையை (orientation) விளக்க, அந்த வெக்டாரைக் கூற்றுத் தொகுதியில் (co-ordinate system) குறிப்பிடவேண்டும்.

படம் 76-ல் காட்டியபடி t என்ற வெக்டாரை x, y, z என்ற மூன்று அச்சுகளில் வெட்டக்கூடிய மூன்று கூறுகளின் கூடுதலாகக் குறிப்பிடலாம்.

$$t = t_x n_x + t_y n_y + t_z n_z \quad \ldots \quad (1)$$



படம் 76. வெக்டாரின் திசைக் கோட் சேர்க்கை

மேற்குறிப்பிட்ட 1 ஆவது சமன்பாட்டில் n_x, n_y, n_z என்பவைகள் மூன்று அச்சுகளிலும் குறிப்பிடப் படும் அலகு வெக்டார்களாகும் (unit vectors).

படம் 76-ல், t என்ற வெக்டார், ϕ_X. ϕ_Y, ϕ_Z என்ற மூன்று அச்சுகளில் உண்டாக்குகிறது.

ஆகையால்,

$$\left.\begin{aligned} t_x &= t \cos \phi_x \\ t_y &= t \cos \phi_y \\ t_z &= t \cos \phi_z \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (2)$$

வடிவ கணிதத்திற்குரிய முறையில் 't' என்ற வெக்டாரைக் கீழ்க்கண்ட வகையில் குறிப்பிட லாம்.

$$t^2 = t_x^2 + t_y^2 + t_z^2 \qquad \ldots \qquad (3)$$

இதிலிருந்து

$$\cos^2 \phi_x + \cos^2 \phi_y + \cos^2 \phi_z = 1$$

மேற்கண்ட இரண்டாவது, மூன்றாவது சமன்பாட்டைக் கொண்டு கீழ்வருமாறு எழுதலாம் :

$$\cos \phi_x = \frac{t_x}{(t_x^2 + t_y^2 + t_z^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\cos \phi_y = \frac{t_y}{(t_x^2 + t_y^2 + t_z^2)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\cos \phi_z = \frac{t_z}{(t_x^2 + t_y^2 + t_z^2)^{\frac{1}{2}}}$$

வெக்டார் பெருக்கல்

வெக்டார் பெருக்கலில் இருவகை உண்டு. ஒன்று "புள்ளிப் பெருக்கி" அல்லது "எண்ணிப் பெருக்கி" (Scalar product) எனப்படும். மற்றொன்று வெக்டார் குறுக்குப் பெருக்கி" யாகும் (vector product)

புள்ளிப்பெருக்கி (Scalar product)

இரு வெக்டார்களின் புள்ளிப் பெருக்கியை இவ்விரு வெக்டார் களின் இடையில் புள்ளியொன்று வைத்துக் குறிப்பிடலாம். இரு வெக்டார் அளவுகளின் (magnitude) பெருக்குத் தொகையோடு இவ்விரு வெக்டார்களுக்கிடையில் உள்ள கோணத்தின் கொசைன் (cosine) மதிப்பைப் பெருக்கிவந்த தொகையே இந்த இரு வெக்டார் களின் புள்ளிப் பெருக்கியாகும்.

அதாவது,

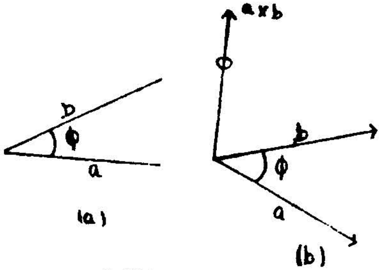
$$a.t = ab \cos \phi$$

மாற்றுவிதி (law of commutation) புள்ளிப் பெருக்கிக்குப் பொருந்தும்.

$$a\,b = b.a$$

இதேபோல்,

$$a.(b + c) = a b + a.c$$



படம் 77. புள்ளிப்பெருக்கி

இருவெக்டார்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருப்பின் அவற்றின் புள்ளிப் பெருக்கி பூஜ்ஜியமாகும். எடுத்துக் காட்டாக மூன்று வெக்டார் அலகுகளின் புள்ளிப் பெருக்கி பூஜ்ஜியமாகும். எடுத்துக்காட்டாக மூன்று வெக்டார் அலகு களின் புள்ளிப் பெருக்கி கீழ்வருமாறு கணக்கிடப்படுகிறது.

$$n_x \cdot n_x = n_y \cdot n_y = n_z \cdot n_z = 1$$

$$n_x\, n_y = n_x \cdot n_z = n_y \cdot n_z = 0.$$

வெக்டார் குறுக்குப் பெருக்கி (Vector product)

a, b என்ற இரு வெக்டார்களைப் பெற்றிருக்கும் தளத்திற்குச் செங்குத்தாக உள்ள வெக்டாரே a, b என்ற வெக்டார்களின் குறுக்குப் பெருக்கியாகச் சொல்லப்படுகிறது. a, b என்ற இந்த இரண்டு வெக்டார் அளவுகளின் (magnitudes) பெருக்குத் தொகையோடு, இவ்விரு வெக்டார்களுக்கிடையில் உள்ள கோணத் தின் சைன் (sin of the angle) மதிப்பைப் பெருக்கிவந்த தொகையே இவ்விரு வெக்டார்களின் குறுக்குப் பெருக்கியாகும்.

$$a \times b = ab \sin \phi$$

ஆனல் $b \times a = -(a \times b)$

$$a \times (b + c) = a \times b + a + c$$

இரு ஒரு போக்கு (parallel) வெக்டார்களின் குறுக்குப் பெருக்குத் தொகை பூஜ்ஜியமாகும்.

அதாவது,

$$n_x \times n_z = n_y \times n_y = n_z \times n_z = 0$$

$$n_x \times n_y = -n_y \times n_x = n_z$$

$$n_y \times n_z = n_x \; ; \; n_z \times n_x = n_{:}$$

சில முக்கிய இயற்பியல் மாறிலிகள்

(Some Important Physical Constants)

1. எலக்ட்ரான் மின்னூட்டம் (e)
(Charge of the electron) $= 4{\cdot}80 \times 10^{-10}$ e.s.u.

2. எலக்ட்ரானின் நிறை (m)
(Mass of the electron) $= 9{\cdot}11 \times 10^{-28}$ gm

3. நியூட்ரானின் நிறை (M_N)
(Mass of the neutron) $= 1{\cdot}675 \times 10^{-24}$ gm

4. புரோட்டானின் நிறை (M_P)
(Mass of the proton) $= 1{\cdot}672 \times 10^{-24}$ gm

5. ஒளியின் வேகம் (C)
(Velocity of light) $= 2{\cdot}998 \times 10^{10}$ cm/sec

6. பிளாங்கின் மாறிலி (h)
(Plancks' constant) $= 6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ erg-sec

7. அவகாட்ரோவின் மாறிலி(N)
(Avogadro's number) $= 6{\cdot}02 \times 10^{23}$ / mole

8. போல்ட்ஸ்மென் மாறிலி (K)
(Boltzmann's constant) $= 1{\cdot}38 \times 10^{-16}$ erg / °A

9. 1-எலக்ட்ரான் வோல்ட்
(One electron volt) $= 1{\cdot}602 \times 10^{-12}$ erg

10. 1-கலோரி
(One calorie) $= 4{\cdot}182 \times 10^{7}$ erg

11. வாயு மாறிலி
(Gas constant) $= 1 \cdot 99$ cal / °A / mole

12. கால்சைட்டின் மூலக்கூறு
எடை எண்
(Molecular Weight of
calcite) $= 100 \cdot 091$

ன் அடர்த்தி $= 2 \cdot 71029$ gm / c.c.

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்
(Bibliography)

1. X-rays in practice by Wayne T. Sproull—McGraw-Hill Book Company, New York, 1946.

2. X-ray diffraction procedures by H. P. Klug and L. E. Alexander—John Wiley and sons, INC, 1954

3. Electrical engineering materials by S.O. Pillai, A.C.C.E.T ; Karikudi-4, 1972.

4. Fundamentals of Physical optics by F.A. Jenkinson and H. C. White—McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1937.

5. Applied X-rays by G. L. Clark—McGraw-Hill Book Company, New York, 1955.

6. Fundamentals of Solid state physics by B. S. Saxena, R. C. Gupta and P. N. Saxena—Pragati Prakashan, 1975.

7. Structure of metals by C. S. Barret and T. B. Massalski—S. Chand and Co, New Delhi, 1968.

8. Elements of Spectroscopy by Gupta, Kumar Sharma—Pragati Prakashan, Meerut, 1975.

9. Atomic Physics by J. B. Rajam—S. Chand and Co. Delhi-1958.

10. Elements of Physical metallurgy by A. G. Guy—Oxford Book Company, New Delhi, 1962.

11. *X*-rays in theory and experiment by Compton and Allison, D. VanNostrand Company, INC ; New York, 1935.

12. X-rays by Maurice DeBroglie—Methuen and Co Ltd, London, 1925.

13. X-rays in research and industry by H. Hirst—Chapman and Hall Ltd, London 1946.

14. Solid state for engineers by M. J. Sinnott—Toppan Company Ltd, Tokyo, 1958.

15. Electronic processes in materials by L. V. Azaroff and J. D. Bropho—Kogakusha Company Ltd, Tokyo, 1963.

16. Crystals and light by E. A. Wood—D. VanNostrand Company, INC. London, 1968.

17. The Physics of Engineering Solids by T. S, Hutchison and D. C. Baird—John Wiley Sons, Inc. NewYork, 1968.

18. Perspectives of Modern Physics by Arthur Beiser—McGraw-Hill Book Company, NewYork, 1969.

19. Atomic and Nuclear Physics by K. Gopalakrishnan, The Macmillan Company, Madras, 1973.

20. Principles of Physical Metallurgy by M. C. Smith—Allied Pacific Pvt, Ltd, Bombay, 1962.

21. Elements of Materials Science by L. H. VanVlack—Addison-Wesley Publishing Company, INC ; California, 1968.

22. Structure of Atoms and Crystals by J. C. Joshi and L. C. Joshi—Pragati-Prakashan, Meerut, 1969.

23. A text book of Modern Physics by D. R. Khanna—Khanna Publishers, New Delhi-6, 1974.

24. Engineering Materials by Z. D. Jastrzebski—Toppan Printing Company, Tokyo, 1959.

25. The structure and properties of materials Vol I by M. Rose, L.A. Shepard and John Wulf Wiley—Eastern Private Ltd, New Delhi, 1968.

26. Electrical engineering materials by A. J. Dekker—Prentice-Hall of India Pvt., Ltd., New Delhi, 1967.

27. Engineering Materials Science by C. W. Richards—Prentice Hall of India, New Delhi, 1965.

28. Essentials of Crystallography by Y. Flint, PEACE Publishers, Moscow.

29. An Introduction to crystallography by F—C. Phillips, Longmans, Green and Co. Ltd., London, 1963.

30. Elements of X-ray and Crystallography by L. V. Azaroff—Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1958.

31. Physics of Solids by Wert and Thomson—McGraw Hill Book Company, New York, 1964.

அறிவியல் ஏடுகள்

(Journals)

1. M. deBroglie, J. Phys., 5, 161, 227 (1916)

2. F. K. Richtmyer, Phys. Rev., 18, 13 (1921), 27, 1 (1925)

3. A. H. Compton, Phys. Rev., 21, 715 (1923); 22, 409 (1923)

4. W. C. Rontgen, Ann. Physick, 64, 1 (1898)

5. W. Stenstrom, disseration, Lund (1919), 329

6. Duane and Patterson, Phys. Rev., 16, p 526 (1920)

7. M. Seigbahn, Comtes Rendus, 173, p. 1350 (1921); 174, 745 (1922)

8. C. G. Barkla, Proc. Roy. Soc (London) A, 77, 247 (1906)

9. C. T. Ulrey, Phys. Rev., 11, 401 (1918)

10. W. Duane and F. L. Hunt, Phys. Rev., 6, 166(1915)

11. H. G. J. Mosely, Phil. Mag; 26, 1024 (1913, 27, 703 (1914).

12. A. H. Compton and R. L. Doan, Proc. Natl. Acad. Sci., 11, 598(1925)

13. M. Lane, W. Friedrich and P. Krupping, Ann. Physik, 41, 971(1913)

14. R. T. Birge, Amer. J. Phys., 13, 69(1945)

15. R. W. James and G. W. Brindley, Z. Krist., 78, 470 (1931)

16. M. deBroglie, Compt, rend., 158, 177 (1914)

17. Seemann, Physik Z., 20, 55, 169(1919)

18. P. P. Ewald, Z. Krist, 56, 129 (1921)

19. J. D. Bernal, Proc. Roy. Soc (London) A,41 3, 117 (1927)

கலைச்சொற்கள்

A

Absolute — தனி, சார்பிலா
Absolute unit — சார்பிலா அலகு
Absolute value — தனி மதிப்பு
Absolute temperature — தனி வெப்பநிலை
Absolute zero — சார்பிலாச் சுழி
Absorption — உட்கவர்தல்
Absorption coefficient — உட்கவர் எண்
Absorptive power — உட்கவர் திறன்
Acceleration — முடுக்கம்
Accelerator — முடுக்கி
Accumulator — மின் சேமக்கலம்
Accuracy — துல்லியம்
Action — வினை, செயல்
Activation — செயலூக்கம்
Adjustment — சீரமைவு
Aggregate — மொத்தம்
Algebraic sum — குறியியல் தொகை
Alkali metal — கார உலோகம்
Allotropy — தனிம மாற்று அமைப்பு
Alloy — உலோகக் கலவை
Alpha rays — ஆல்ஃபாக் கதிர்கள்
Alternating current — மாறுதிசை மின்னோட்டம்
Alternating magnetic field — மாறுதிசை காந்தப் புலன்
Alternator — திசை மாற்றி
Amorphous — படிக உருவமற்ற
Amplification factor — பெருக்கு எண்
Amplifier — பெருக்கி
Amplitude — வீச்சு
Analyser — பகுப்பான்
Analysis — பகுப்பாய்வு
Angle of incidence — படுகோணம்

Angle of inclination — சாய்கோணம்
Angstrom unit — ஆங்ஸ்ட்ராம் அலகு
Angular momentum — கோண உந்தம்
Angular position — கோண நிலை
Anion — எதிர் அயனி
Anisotropic crystal — திசை யொவ்வாப் பண்பியல் படிகம்
Anode — நேர்மின்வாய்
Apparatus — ஆய்கருவி
Apparent — தோற்றவியலான
Applied — பயன்முறை
Arc — வில்
Artificial transmutation — செயற்கைக் கரு மாற்றம்
Asbestos — கல்நார்
Assumption — தற்கோள்
Atmosphere — வாயு மண்டலம்
Atmospheric pressure — வாயு மண்டல அழுத்தம்
Atom — அணு
Atomic energy — அணுவாற்றல்
Atomic number — அணு எண்
Atomic weight — அணு எடை
Avogadro's number — அவகாட்ரோ எண்
Axis — அச்சு
Axis of rotatory inversion — சுற்றிக் கவிழ்க்கும் அச்சு
Axis of rotation — சுழற்சி அச்சு
Axis of symmetry — சமச்சீர் அச்சு
Azimuthal quantum number — திசைக்கோணக் குவாண்டம் எண்

B

Band — பட்டை
Band spectrum — பட்டை நிறமாலை
Band width — பட்டை அகலம்
Base — அடிவாய்
Base centred crystal — அடிவாய் மையப் படிகம்
Battery — மின்கல அடுக்கு
Beam — கற்றை
Beam of light — ஒளிக்கற்றை
Betatron — பீட்டாட்ரான்
Binding energy, Bond energy — பிணைப்பாற்றல்

Body centred cubic crystal — உருவமையப் படிகம்
Boiling point — கொதிநிலை
Bond — பிணைப்பு
Bond, Covalent — சகபிணைப்பு
,, Double — இரட்டைப்பிணை
,, Ionic — அயனிப்பிணை
,, Metallic — உலோகப்பிணை
,, Single — ஒற்றைப்பிணை
,, Triple — முப்பிணை
,, strength — பிணைப்புவலு
Brittle — நொறுங்கும் இயல்புள்ள

C

Calcite — கால்சைட்
Calculate — கணக்கிடு
Calculation — கணக்கீடு
Capillary tube — நுண்குழாய்
Cartesion geometry — வடிவ கணிதம்
Cathode — எதிர் மின்வாய்
Cathode ray — எதிர்மின் கதிர்
Centre of symmetry — சமச்சீர் மையம்
Characteristic X-rays — சிறப்பு எக்ஸ்-கதிர்கள்
Charge — மின்னூட்டம்
Chemical composition — இரசாயன அமைப்பு
Chemical compound — இரசாயனச் சேர்மம்
Circuit — ஏற்று
Circuit orbit — வட்டச் சுற்றுப்பாதை
Classical Theory — முதுபழங் கொள்கை
Classification — வகைப்படுத்துதல்
Cleavage plane — பிளவுறு தளம்
Closest packing — நெருக்கமான பொதிவு
Cloud chamber — முகிற்கலம்
Complex crystal — பல்கூட்டுப் படிகம்
Complimentary angle — நிரப்பு கோணம்
Composite symmetry operation — கலப்புச் சமச்சீர்ச் செய்கை
Compound — சேர்மம்
Concentrated — செறிந்த, அடர்ந்த
Concentration — அடர்வாக்கல்
Cone — கூம்பு

Constant — மாறிலி
Constituents — ஆக்கக்கூறுகள், இயைபு உறுப்புகள்
Convention — மரபு
Co-ordinate — ஆயம்
Co-ordination number — ஆய எண்
Crystal — படிகம்
Crystal axis — படிக அச்சு
Crystal face — படிக முகம்
Crystal lattice — படிக அணிக்கோவை
Crystallographic axis — படிக அச்சு
Crystallography — படிகவியல்
Crystal planes — படிகத் தளங்கள்
Crystal structure factor — படிக இயலமைப்புக் காரணி
Crystal system — படிக வகை
Cube — கனசதுரம்
Current — மின்னோட்டம்
Curve — வளைகோடு
Curved surface — வளைந்த மேற்பரப்பு
Cyclic process — சுற்றுமுறை

D

Data — தரவு
Decomposition — சிதைவு
Definition — வரையறை
Deformation — வடிவமாற்றம்
Degree of symmetry — பிரகைச் சமச்சீர்
Demonstration — செய்துகாட்டல்
Density — அடர்த்தி, செறிவு
Detection — தடம் கண்டறிதல்
Detector — கண்டுபிடிப்பான், பகுப்பான்
Diad axis (Axis of two-fold symmetry) — இரண்டு மடிப்புச் சமச்சீர் அச்சு
Diamond — வைரம்
Diatomic molecule — ஈரணு மூலக்கூறு
Diagonal plane — மூலவிட்டச் சமச்சீர் தளம்
Diffraction — விளிம்பு வளைவு
Diffraction fringes — விளிம்பு வளைவு வரிகள்
Diffraction pattern — விளிம்பு வளைவுப் பாங்கம்

Dimension — பரிமாணம்
Direct current — நேர்திசை மின்னோட்டம்
Directional character — திசையியல்பு
Disc — அகல்
Dot product — புள்ளி பெருக்கி
Double crystal spectrometer — இருபடிக நிறமாலை மானி
Double crystal — இரட்டைப் படிகம்
Ductile — கம்பியாக நீட்டப்படும் தன்மை

E

Electrical conduction — மின்கடத்தல்
Electrical properties — மின் தன்மைகள்
Electric current — மின்னோட்டம்
Electric field — மின்புலம்
Electric potential — மின்னழுத்தம்
Electrode — மின்வாய்
Electromagnetic unit — மின்காந்த அலகு
Electomotive force — மின் இயக்கு விசை
Electron — எலக்ட்ரான்
Electromagnetic unit — மின்காந்த அலகு
Electrostatic unit — நிலைமின் அலகு
Element — தனிமம், மூலகம்
Emission spectrum — வெளிவிடு நிறமாலை
Energy — ஆற்றல்
" spectrum — ஆற்றல் மாலை
Environment — சூழ்நிலை
Equation — சமன்பாடு
Equilibrium — சமநிலை
Example — மேற்கோள்
Excess — மிகுபாடு
Excited state — கிளர்வுற்ற நிலை
Expression — கோவை
External — புற

F

Face centred cubic crystal — பக்க மையங்கொண்ட கன சதுரம்
Factor — கூற்றெண்

Filament — இழை
Film — ஏடு
Filter — வடிகட்டி
Filtered radiation — வடிகட்டிய வீச்சு
Force — விசை
Formula — சூத்திரம்
Free electron — கட்டில்லா எலக்ட்ரான்
Free energy — இயல்பு ஆற்றல்
Free surface energy — புறப்பரப்பு ஆற்றல்
Freezing point — உறைநிலை
Fringe — வரி
Full wave rectifier — முழு அலை திருத்தி
Fusion — உருகுதல்

G

Gas tube — வாயுக் குழாய்
Geometry — வடிவ அமைப்பு
Glancing angle — தொடுகோணம்
Glass slab — கண்ணாடிப் பட்டகம்
Glide plane — நழுவு தளம்
Good conductor — நற்கடத்தி
Graduate — அளவீடுசெய்
Graph — வரைபடம்
Graphite — எழுதுகரி
Gram-molecule — கிராம் மூலக்கூறு
Gram molecular weight — மூலக்கூறு கிராம் எடை
Group — பிரிவு

H

Half period element — அரை அலைவுநேரக் கூறு
Half period zone — அரை அலைவுநேர மண்டிலம்
Halide — ஹாலைட்
Hallow — உள்கூடான
Halogen — உப்பீனி
Half wave rectifier — அரை அலை திருத்தி
Hard X-ray — கடின எக்ஸ்-கதிர்கள்
Heat capacity — கனல் ஏற்புத்திறன்
Hexagonal close packed lattice — நெருக்கமான அறுகோண அணிக்கோவை

Hexagonal crystal — அறுகோணப் படிகம்
Horizontal — கிடைமட்டம்
Hybrid — கலப்பினம்

I

Identity axis — சர்வ சமமான அச்சு
Incident ray — படுகதிர்
Incoherently scattered X-ray — மாறியில் சிதறல் எக்ஸ்-கதிர் கள்
Index — குறிமுள்
Induced — தூண்டப்பட்ட
Induction coil — தூண்டுசுருள்
Infinite — எண்ணிலா
Infinity — எண்ணிலி
Intensity — செறிவு
Interfacial angle — இடைப்பரப்பிடைக் கோணம்
Insulator — அரிதிற் கடத்தி
Inversion — கவிழ்த்தல்
Interplaner spacing — தளஇடைத் தூரம்
Intense reflected beam — செறிவு எதிரொளிப்புக் கதிர் கள்
Ion — அயனி
Ionic crystal — அயனிப் படிகம்
Ionic strength — அயனித் திறன்
Ionic theory — அயனிக் கொள்கை
Ionisation potential — அயனியாக்கும் ஆற்றல்
Isortropic substances — திசையொப்புப் பண்பியல் பொருள்கள்

K

Kinetic energy — இயக்க ஆற்றல்
Kinetic theory of gases — வாயுக்களின் இயக்கக் கொள்கை

L

Laboratory — ஆய்வுக்கூடம்
Laser — லேசர்
Lattice — ஃகோவை

Lattice imperfections — அணிக்கோவை முற்றுப் பெருமை
Lattice constant — அணிக்கோவை மாறிலி
Lattice strains — அணிக்கோவைத் திரிபு
Lattice structure — அணிக்கோவை இயலமைப்பு
Laue method — லாவேயின் முறை
Light filters — ஒளி வடிப்பான்
Limit — வரம்பு
Liquid — நீர்மம்
Light quanta — ஒளிக் குவான்டங்கள்

M

Magnetic — காந்தவியலான
Magnetic dipole — காந்த இருமுனை
Magnetic effect — காந்த விளைவு
Magnetic flux — காந்தப் பாயம்
Magnetic induction — காந்தத் தூண்டல்
Magnetic quantum number — காந்தக் குவான்டம் எண்
Magnitude — எண் மதிப்பு
Mass — பொருண்மை
Mass number — அணு எண்
Mass unit — நிறை அலகு
Maser — மேசர்
Material particle — பருப்பொருள் துகள்
Matter — பருப்பொருள்
Maximum — பெருமம்
Manoatomic gas — ஒற்றை அணுவாயு
Manochromatic light — ஒற்றைநிற ஒளி
Manochromatic source — ஒற்றைநிற மூலம்
Mean atomic weight — சராசரி அணு எடை
Mean free path — சராசரி மோதலிடைத் தூரம்
Mean life — சராசரி ஆயுள்
Medium — ஊடகம்
Melting point — உருகுநிலை
Metallic bond — உலோகப் பிணைப்பு
Metallic crystals — உலோகப் படிகங்கள்
Metallurgy — உலோகவியல்
Mercury — பாதரசம்
Meter — மானி

Miller indices — மில்லர் காட்டிகள் ·
Minimum — சிறும நிலை
Mirror image — ஆடிப் பிம்பம்
Mirror plane — ஆடித் தளம்
Mixture — கலவை
Molecule — மூலக்கூறு
Molecular attraction — மூலக்கூறுக் கவர்ச்சி
,, scattering — மூலக்கூறு ஒளிச் சிதறல்
,, theory — மூலக்கூறுக் கொள்கை
,, weight — மூலக்கூறு எடை

N

Natural frequency — இயல் அதிர்வெண்
Negative ion — எதிர் அயனி
Negatively charged — எதிர்மின்னூட்டமுற்ற
Negative potential — எதிர்மின் அழுத்தம்
,, terminal — எதிர்மின் முனை
Non conductor — கடத்தாப் பொருள்

O

Optical filter — ஒளியியல் வடிப்பான்
,, properties — ஒளியியல் தன்மைகள்
,, radiation — ஒளியியல் கதிர்வீச்சு
,, spectra — ஒளியியல் நிறமாலை
Orbit — சுற்றுப் பாதை
Orbital quantum number — வீதிநிலைக் குவான்டம் எண்
Order — வரிசை
,, of diffraction — விளிம்பு வளைவின் வரிசை
Orientation — முகப்புநிலை
Organic crystal — திரிபுடைய படிகம்

P

Packing effect — பொதிவுப் பலன்
Packing factor — பொதிவுக் கூற்றெண்
Parallel — ஒருபோக்கு, இணை
Partial reflection — பகுதி எதிரொளிப்பு
Particle — துகள்
Path difference — பாதை வேறுபாடு

Penetrating power — ஊடுருவு திறன்
Periodic table — தனிம வரிசை அட்டவணை
Phase — கட்டம்
Phase lag — தலைக் குறைபாடு
Phase difference — கட்ட வேறுபாடு
Photo electric effect — ஒளிமின் விளைவு
,, electron — ஒளி எலக்ட்ரான்
Photographic film — ஒளிப்பட ஏடு
,, plate — ஒளிப்படத் தகடு
Physical state — பௌதிக நிலை
Physics — பௌதிகம், இயற்பியல்
Physical constant — இயற்பியல் மாறிலி
Plane lattice — தள அணிக்கோவை
Planes of zones — மண்டலத் தளங்கள்
Plane of symmetry — சமச்சீர் தளம்
Point groups — புள்ளித் தொகுப்புகள்
Polarity of bonds — பிணைப்புகளின் முனைவு
Poles — முனைகள்
Polyatomic molecule — பல் அணு மூலக்கூறு
Potential — மின் அழுத்தம்
Potential differenee — மின் அழுத்த வேறுபாடு
Potential energy — நிலை ஆற்றல்
Positive ion — நேர்அயனி
Positive potential — நேர்மின் அழுத்தம்
Postulate — எடுகோள்
Powder method — துகள் முறை
Power — திறன்
Precautions — முன்எச்சரிக்கை
Probability — நிகழ்ச்சித் தகவு
Procedure — வழிமுறை
Principle — தத்துவம்
Proof — மெய்ப்பித்தல்
Primary X-rays — முதன்மை எக்ஸ்-கதிர்கள்
Pseudo symmetry — போலியான சமச்சீர்

Q

Quality — பண்பு, தன்மை
Quantity — அளவு
Quantum — குவான்டம்
condition — குவான்டம் நிபந்தனை

Quantum number — குவான்டம் எண்
,, theory — குவான்டம் கொள்கை

R

Radiation — கதிர்வீச்சு
Radial force — ஆரக்கால் விசை
Radiant energy — வீசுகதிர்
Radius — ஆரம்
Rays — கதிர்கள்
Rare earth metals — அருமண் உலோகங்கள்
Reflecting Goniometer — எதிரொளிக்கும் கோனியா மீட்டர்
Refractive index — ஒளி விலகலெண்
Rectifier — திருத்தி
Result — முடிவு
Resultant amplitude — தொகுபயன் வீச்சு
Rheostat — மின்தடை மாற்றி
Rock salt — இந்துப்பு
Rotating crystal method — சுழல் படிக முறை

S

Saturate — தெவிட்டிய
Scalar — ஸ்கேலார்
Scale — அளவுகோல்
Scalar product — எண்ணி பெருக்கி
Screening constant — திரையிடும் மாறிலி
Scattering — சிதறல்
Screw — திருகு
Secondary electrons — பின்வரு எலெக்ட்ரான்கள்
Secondary waves — இரண்டாம்நிலை அலைகள்
Semi conductor — குறை கடத்தி
Sensitivity — உணர்வு நுட்பம்
Shell — கூடு
Shield — கேடயம்
Shift — பெயர்ச்சி
Simple cube — சாதாரணக் கனசதுரம்
Signal — சைகை
Single slit — ஒற்றைப் பிளவு
Slide — வழுக்கு

Slide rule — வழுக்குச் சட்டம்
Slit — பிளவு
Soft X-rays — X-மென்கதிர்கள்
Solid — திடப்பொருள்
Solid angle — திண்மக் கோணம்
Solid state — திண்ம நிலை
Source — மூலம்
Space group — இடத்தொகுப்பு
Space group theory — இடத்தொகுப்பு அறிமுறை
Specific conduction — தற்கடத்து திறன்
Specific resistance — தன்தடை எண்
Speed — வேகம்
Spectrometer — நிறமாலைமானி
Space lattice — இட அணிக்கோவை
Spin — தற்சுழற்சி
Stability — நிலைப்பாடு
Stem — தண்டு
Steam — நீராவி
Strain — திரிபு
Strained crystal — திரிபுடைய படிகம்
Stirrer — கலக்கி
Symmetry — சமச்சீர்
Symmetry elements — சமச்சீர் தனிமங்கள்
Symmetry operation — சமச்சீர்ச் செய்கை
Sub shell — துணைக் கூடு
Surface energy — பரப்பாற்றல்

T

Temperature — வெப்பம்
Tension — இழுவிசை
Tetrad axis — நான்கு மடிப்புச் சமச்சீர் அச்சு
Tetrahedran — நான்முகி
Thermal conductivity — வெப்பக் கடத்துதிறன்
Thermal capacity — வெப்ப ஏற்புத்திறன்
Three dimension — முப்பரிமாணம்
Translation — இடப்பெயர்ச்சி
Translation symmetry — சமச்சீர் தள்ளல்
Triad axis — மூன்று மடிப்புச் சமச்சீர் அச்சு

Triple bond — முப்பிணைப்பு
True mass absorption coefficient — உண்மைநிற உட்கவர் எண்
Tungsten filament — டங்ஸ்டன் இழை

U

Ultraviolet — புறஊதா
Uncharged — மின்னூட்டம் பெறாத
Uniform — ஒரேசீரான
Unit — அலகு
Unit cell — ஓரலகு உயிர்மம்
Unit plane — அலகு தளம்
Unit charge — அலகு மின்னூட்டம்
Unit volume — கொள்அலகு
Univalent — ஓரிணை திறன்
Unit vector — அலகு வெக்டார்

V

Vacuum — வெற்றிடம்
Valence electron — இணைதிறன் எலக்ட்ரான்
Valence crystals — சகபிணைப்புப் படிகங்கள்
Vanderwaals crystals — வாண்டர்வால்ஸ் படிகங்கள்
Variable — மாறி
Vector — வெக்டார்
Vector product — வெக்டார் குறுக்குப்பெருக்கி
Vertical axis — நிலக்குத்து அச்சு
Vertical plane — செங்குத்துத் தளம்
Visible — கட்புலனுதல்
Vision — காட்சி, பார்வை
Volt — வோல்ட்
Voltage — மின்அழுத்தம்
Volume — பருமம்

W

Wave-length — அலைநீளம்
,, front — அலைமுகம்
,, let — அலைக்குட்டி
,, number — அலை எண்

X

X-ray analysis	— X-கதிர்ப் பகுப்பாய்வு
,, diffraction	— X-கதிர்க் கோணம்
X-rays	— X-கதிர்கள்
X-ray Spectrometer	— X-கதிர் நிறமானி

Y

Yield	— விளைச்சல்

Z

Zero	— சுழி
Zero point energy	— சுழிப்புள்ளி ஆற்றல்
Zone	— மண்டிலம்
Zone axis	— மண்டில அச்சு
Zone plate	— மண்டிலத் தட்டு